

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

KONTROLA KVALITY VÝROBKU

PRODUCT QUALITY CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Pitrun

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Boštík

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Tomáš Pitrun

ID: 211167

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Kontrola kvality výrobku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout systém pro vizuální kontrolu kvality výrobku pomocí kamery. Práce je zadána ve spolupráci s firmou Ravensburger Karton, s.r.o v Poličce.

1. Seznamte se se situací na výrobní lince firmy Ravensburger Karton, s.r.o. v Poličce a popište současný systém kontrol výrobků na lisovně plastů.
2. Provedte literární rešerši v oblasti technologií vstřikování termoplastů. Zaměřte se také na popis vad, ke kterým při vstřikování může dojít a které ovlivní kvalitu výsledného výrobku.
3. Navrhněte vhodný kamerový systém pro kontrolu výrobků na lisovně plastů.
4. Realizujte navržený systém dle bodu č. 3 zadání.
5. Ověřte navržený kamerový systém v reálném provozu.
6. Zhodnoťte výsledky a přínosy tohoto systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Hlaváč, V. & Sedláček, M., 2005. Zpracování signálů a obrazů Vyd. 2., přeprac., Praha: Vydavatelství ČVUT.
- [2] Sojka, E. & Sedláček, M., 2000. Digitální zpracování a analýza obrazů Vyd. 2., přeprac., Ostrava: VŠB-Technická univerzita.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Bošík

Konzultant: Ing. Jakub Dvořák

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje průmyslové inspekci vad na výliscích vstřikovacího stroje na základě počítačového rozpoznávání. Součástí práce je popis technologie vstřikování a vad, které se můžou u této technologie vyskytnout. Aplikace pro detekci je implementována v jazyku Python na platformě Raspberry Pi. K rozpoznávání vad výrobků se používá knihovna OpenCV. Součástí práce je také výběr vhodných hardwarových prostředků, mezi něž patří mikropočítač Raspberry Pi, osvětlení, kamerový modul, objektiv, reléové moduly a nosná konstrukce.

Klíčová slova

Raspberry Pi, kamera, objektiv, Python, OpenCV, technologie vstřikování

Abstract

The bachelor's thesis deals with the industrial inspection of defects on injection molding based on computer recognition. Part of the work is a description of injection molding technology and defects that may occur with this technology. The detection application is implemented in Python on the Raspberry Pi platform. The OpenCV library is used to detect product defects. Part of the work is also the selection of suitable hardware resources, including the Raspberry Pi microcomputer, lighting camera module, lens, relay modules and supporting structure.

Keywords

Raspberry Pi, camera, lens, Python, OpenCV, moulding injection

Bibliografická citace

PITRUN, Tomáš. *Kontrola kvalitu výrobku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2021. 70 s., 7 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Ondřej Bošík

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Tomáš Pitrun</i>
VUT ID studenta:	<i>211167</i>
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	<i>2020/21</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Kontrola kvality výrobku</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 23. května 2021

podpis autora

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování Ing. Ondřeji Boštíkovi za jeho cenné rady, doporučení a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Taktéž bych chtěl poděkovat Ing. Jakubovi Dvořákovi za vstřícnost, ochotu a pomoc při získávání potřebných informací a podkladů.

V Brně dne: 23. května 2021

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
ÚVOD	11
1 PLASTOVÉ VÝROBKY	12
1.1 DĚLENÍ POLYMERŮ.....	12
1.2 SEZNÁMENÍ S TECHNOLOGIÍ VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ.....	14
1.3 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ.....	14
1.4 VLIVY NA KVALITU VÝLISKU	17
2 SEZNÁMENÍ S FIRMOU	19
2.1 RAVENSBURGER KARTON V POLIČCE	19
2.2 ODDĚLENÍ LISOVNY PLASTŮ.....	20
2.3 SOUČASNÁ KONTROLA VÝROBKŮ.....	21
2.3.1 Pravidelná kontrola sjezdu	22
2.3.2 Speciální testy	22
2.3.3 Kontrola u výrobní buňky	22
2.4 SEZNÁMENÍ S VÝROBNÍ BUŇKOU.....	23
2.4.1 Popis výlisků	23
2.4.2 Zařízení na výrobní buňce.....	24
2.4.3 Výrobní cyklus.....	25
3 NÁVRH ŘEŠENÍ POMOCÍ POČÍTAČOVÉHO VIDĚNÍ	27
3.1 POČÍTAČOVÉ VIDĚNÍ.....	27
3.1.1 Princip počítačového vidění.....	28
3.1.2 Kategorie systémů	28
3.2 PŘEHLED POŽADAVKŮ FIRMY	29
3.3 PŘEHLED NUTNÝCH POŽADAVKŮ PRO IMPLEMENTACI ZAŘÍZENÍ	29
3.4 RASPBERRY PI.....	30
3.4.1 Kamerový modul	32
3.4.2 Objektiv.....	34
3.5 OSVĚTLENÍ.....	36
4 NÁVRH HW VYBAVENÍ.....	39
4.1 RASPBERRY PI BOX S KAMEROVÝM MODULEM	39
4.1.1 Kamerový modul s objektivem	39
4.1.2 Reléový modul.....	39
4.1.3 Propojení a komunikace.....	41
4.2 OSVĚTLENÍ.....	43
4.3 KOLEJNICOVÝ SYSTÉM	43
4.4 NOSNÁ KONSTRUKCE	45
5 SOFTWARE VYBAVENÍ.....	47
5.1 OPERAČNÍ SYSTÉM RASPBERRY PI	47
5.2 SPUŠTĚNÍ A ZÁKLADNÍ NASTAVENÍ	48

5.3	RASPBERRY PI – KAMEROVÝ MODUL	49
5.4	KNIHOVNA OPENCV	49
5.4.1	<i>Instalace OpenCV do Raspberry Pi</i>	50
5.5	PYTHON GPIO	50
6	ALGORITMUS VYHODNOCENÍ	51
6.1	HISTOGRAM	51
6.1.1	<i>Porovnání histogramů</i>	53
6.2	ALGORITMUS K-NEJBLIŽŠÍCH SOUSEDŮ (KNN)	56
7	HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	57
7.1	MOŽNOSTI ZDOKONALENÍ SYSTÉMU	59
8	ZÁVĚR	60
	LITERATURA	62
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	66
	SEZNAM PŘÍLOH	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Základní rozdělení polymerů.....	12
1.2	Aplikace termoplastů (a) a reaktoplastů (b) [1].....	13
1.3	Aplikace pryží (a) a termoplastických elastomerů (b) [1]	14
1.4	Vstřikovací cyklus [5]	15
1.5	Vstřikovací cyklus časový diagram [4]	16
1.6	Schéma vstřikovacího stroje [6]	16
1.7	Defekt plastového dílu	18
2.1	Hra Gravitrax [9].....	20
2.2	Oddělení lisovny	21
2.3	Typy výrobků	23
2.4	Studený vtok.....	24
2.5	Cyklus manipulátoru	25
2.6	Uchopovací zařízení s výlisky	26
3.1	Obecné uspořádání systému strojového vidění [11]	27
3.2	Raspberry Pi 4B včetně popisu [20]	32
3.3	HQ kamera pro Raspberry Pi [25].....	34
3.4	Objektiv pro HQ kameru [26]	35
3.5	Způsoby osvětlení objektu [18][28]	38
4.1	Modul relé pro spínání osvětlení	40
4.2	Popis pinů GPIO sběrnice mikropočítače [16].....	41
4.3	Schéma zapojení mikropočítače s osvětlením a komunikací.....	42
4.4	Měřicí zařízení na kolejnicovém systému	44
4.5	Návrh nosné konstrukce pro měřicí systém.....	45
5.1	Konfigurační menu Raspberry Pi	48
6.1	Ukázka dvou obrázků s histogramy	51
6.2	Maska a její aplikace na snímek	52
6.3	Histogram barevných složek (B,G,R) výrobku	53
6.4	Metoda díl po dílu [34].....	53
6.5	Ukázka výrobků „OK“ a „NOK“	54
6.6	Histogramy jednotlivých snímků s výrobky.....	55
6.7	Vypočtená vzdálenost histogramů mezi výrobky.....	55
6.8	Princip KNN algoritmu pro naši práci.....	56

SEZNAM TABULEK

2.1	Parametry výrobků	24
3.1	Kategorie a jejich charakteristické znaky [11]	29
3.2	Přehled modelů Raspberry Pi a jejich parametrů [16][17][19].....	31
3.3	Porovnání parametrů jednotlivých kamer [18][21][22][23]	33
3.4	Parametry vybraného objektivu [26]	36
4.1	Parametry vybraného modulu [29]	40
4.2	Komunikace měřicího zařízení s manipulátorem	42
4.3	Parametry napájecího zdroje pro osvětlení.....	43
7.1	Porovnání vyhodnocení kvality na 260 cyklech (1.algoritmus)	58
7.2	Porovnání vyhodnocení kvality na 260 cyklech (2.algoritmus)	58

ÚVOD

Poměrně častým prvkem v oblasti průmyslové automatizace je obor počítačového vidění. Využití počítačového vidění můžeme dnes nalézt v oblasti bezpečnostních systémů, průmyslových aplikací, medicínské techniky, dopravy, robotiky apod. V průmyslové automatizaci se strojové vidění převážně aplikuje z důvodu detekování kvality výrobků z výrobního procesu. Opakovatelnost, přesnost a rychlost jsou hlavními přednostmi systémů strojového vidění. Mezi hlavní parametry, které se u výrobků detekují, patří tvar a barva, číselné kódy, rozměry, nebo také kompletnost všech komponentů ve finálním výrobku. Odstranění vadných výrobků v procesu vede k menší pravděpodobnosti vyexportování vadného kompletního výrobku z výrobního závodu. To vede i k větší spokojenosti zákazníků a snížení výrobních nákladů.

Bakalářská práce se věnuje návrhu a realizaci měřicího zařízení pro detekci kvality výrobků ze vstřikovacího lisu. Práce je realizována ve spolupráci s firmou Ravensburger s.r.o., která vyrábí puzzle, hračky a dětské hry pro děti po celém světě.

Po teoretických kapitolách se práce zabývá popisem plastových výrobků, jejich dělením a technologií, jakou jsou vyráběny. Také se zabývá současnou kontrolou výrobků na oddělení lisovny a popisem výrobní linky, na které je práce realizována. Další částí je návrh řešení pro inspekci vad, výběr vhodného hardwarového vybavení od mikropočítače Raspberry Pi, přes kamerový modul s objektivem až po návrh osvětlení a nosné konstrukce celého měřicího systému. Neposlední částí je návrh softwarového vybavení a algoritmů pro detekci vad. Na závěr práce je shrnuto nasazení zařízení do průmyslu na testovací dobu a popis dosažených výsledků.

1 PLASTOVÉ VÝROBKY

Dalo by se říct, že žijeme v době „plastové“. Plastové výrobky jsou něco, bez čeho si většina lidí nedokáže představit svůj život. Plastové výrobky nachází využití v každé domácnosti, škole, obchodě, průmyslu apod. Termín „plast“ je odvozen od typické vlastnosti tohoto materiálu, což je plasticita.

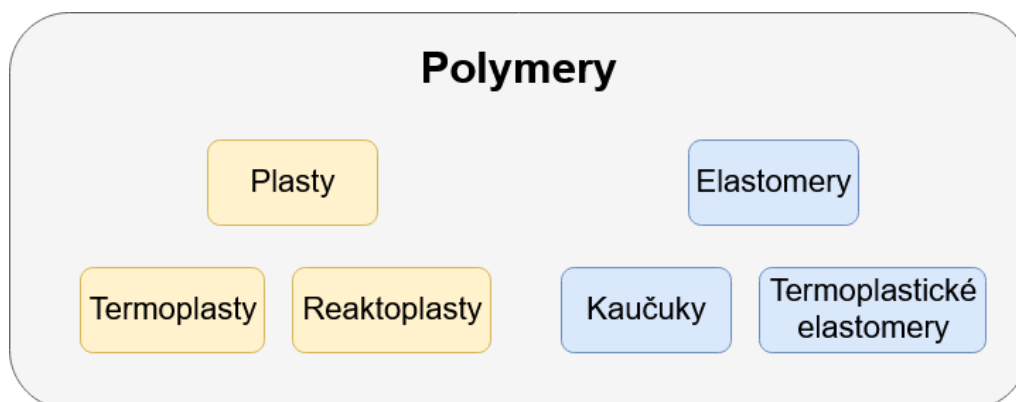
Výroba plastových výrobků je dnes velmi oblíbená, a to hlavně díky vlastnostem, jaké plasty nabízí. Mezi tyto hlavní vlastnosti patří mechanická odolnost, chemická odolnost a nízká tepelná vodivost [1].

Dnes plasty díky svým výhodám vytlačily klasické výrobní materiály jako dřevo, sklo nebo různé kovy. A to díky levné výrobě a dobré zpracovatelnosti.

Průmyslových postupů zpracování plastů je celá řada. Avšak nejčastějšími postupy jsou lisování, vstřikování a válcování [1].

1.1 Dělení polymerů

Polymery je možné rozdělit podle několika kritérií. Základními skupinami jsou plasty a elastomery [1]. Na obrázku 1.1 je rozdělení polymerů znázorněno graficky.



Obrázek 1.1 Základní rozdělení polymerů

Dále podle zahřívání, plasty dělíme na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery jsou vysoce pružný materiál s nízkou tuhostí. Lze jej deformovat bez porušení a tato deformace je vratná. Elastomery dále dělíme na kaučuky a termoplastické elastomery [1].

Termoplasty patří mezi materiály, které zahříváním měknou (stávají se plastické) a lze je tvářet. Po dosažení teploty tání přechází do oblasti taveniny. Zpět do tuhého stavu se dostávají zpětným ochlazením. Tento proces (tuhnutí a měknutí) je vratný a lze jej

teoreticky opakovat do nekonečna). Typickými představiteli jsou polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyoxymethylen (POM) apod [1]. Na obrázku 1.2 lze vidět příklady využití termoplastů.



Obrázek 1.2 Aplikace termoplastů (a) a reaktoplastů (b) [1]

Reaktoplasty patří mezi materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen po určitou dobu po zahřátí. Při procesu dochází k tzv. vytvrzování. Tento proces je nevratný a materiál již nelze tvarovat, svařovat ani převést do taveniny. Výrobky z tohoto typu polymeru mají vysokou chemickou a tepelnou odolnost, tvrdost a tuhost [1]. Příklady aplikací reaktoplastů jsou znázorněny na obrázku 1.2.

Termoplastické elastomery (TPE) mají vlastnosti podobné pryžím. Struktura je tvořena měkkými (elastomery) a tvrdými (termoplasty) segmenty. Zvyšováním teploty přechází do tekutého stavu a lze je zpracovávat obdobně jako termoplasty. Termoplastické elastomery nemají takové elastické vlastnosti jako pryže. Výhodou je však možnost vstřikování pomocí strojů a také možnost jejich opětovné recyklace [1]. Na obrázku 1.3 jsou zobrazeny aplikace jak pryží, tak termoplastických elastomerů.

Polymery dělíme i podle dalších kritérií: původu, chemické příbuznosti, chemické reakce přípravy, složení, molekulární struktury atd. Další možnost je klasifikace materiálů podle postavení na trhu: komoditní plasty (pro široké použití) – představují největší objem výroby i spotřeby. Do této skupiny patří PE, PP, PS, PV. Další skupinou jsou tzv. inženýrské plasty, které slouží především pro konstrukční aplikace. Tyto plasty nabízejí často také vyšší teplotní odolnost. Poslední skupinou jsou tzv. high-tech polymery (speciální polymery), nabízející unikátní vlastnosti, které jsou ideální pro špičkové aplikace. Od kvality materiálu se také odráží jeho cena [1].



Obrázek 1.3 Aplikace pryží (a) a termoplastických elastomerů (b) [1]

Výrobek vstřikovaný pomocí vstřikovacího lisu, kterým se zabývá tato práce, spadá do kategorie termoplastů. Lze jej znovu roztavit a opakovaně vstříknout do dutiny vstřikovací formy.

1.2 Seznámení s technologií vstřikování termoplastů

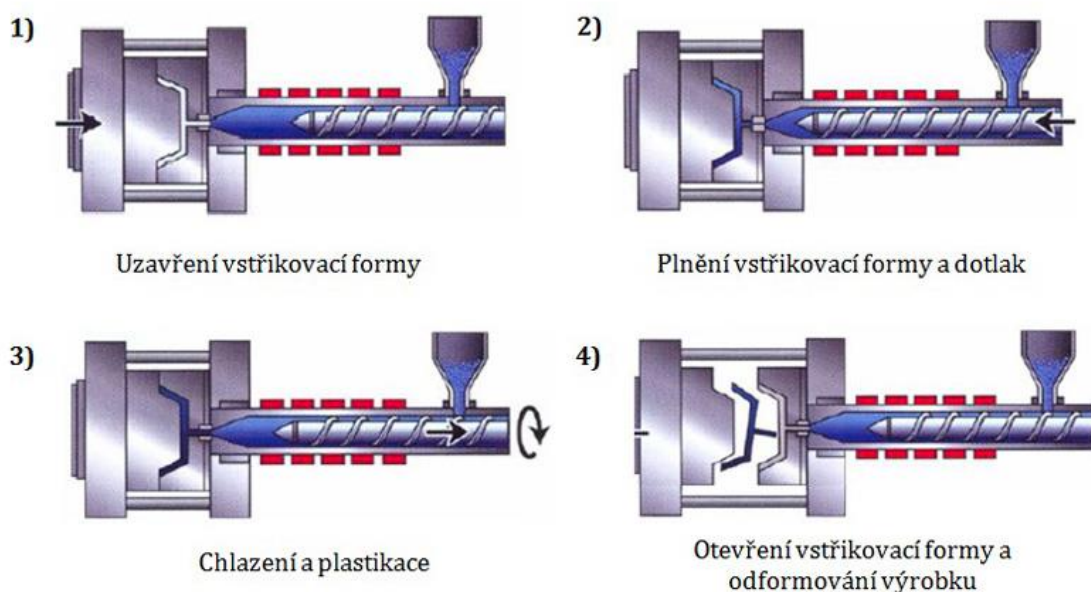
Jde o nejpoužívanější technologii v oblasti zpracování termoplastů (polymerních materiálů). Touto technologií se vyrábí konečné výrobky, ale také polotovary pro další zpracování. Hmotnost vstřikovaných dílů se může pohybovat od desetin gramů až po desítky kilogramů.

Hlavními výhodami technologie vstřikování jsou vysoká rozměrová a tvarová přesnost pro sériovou opakovatelnost procesu. Výrobní cykly jsou krátké a kvalita výrobků je velmi dobrá.

Tato technologie má ale také nevýhody. Snad největší nevýhodou jsou velké pořizovací náklady strojů a vstřikovacích forem. Pořízení těchto strojů je vhodné hlavně pro velkosériovou výrobu jako například výroba vršků na PET lahve [3].

1.3 Princip vstřikování

Materiál je zpravidla ve formě granulí nasypán do násypky, odkud je odebírán šnekem (pístem). Materiál je dopravován do tavicí komory plastifikační jednotky. V této komoře účinkem tření a tepla vzniká z pevného materiálu tavenina. Následně je roztavený materiál vysokým tlakem vstříknut do uzavřené dutiny formy. Následuje dotlaková fáze, pomocí které se sníží smrštění a rozměrové změny výrobku. Plast odevzdává formě teplo a postupným ochlazováním ztuhne v konečný výrobek. Na závěr je pomocí vyhazovacího systému výrobek vyhozen z formy a celý výrobní proces se může cyklicky opakovat [4]. Všechny základní fáze vstřikovacího cyklu jsou vyobrazeny na obrázku 1.4.

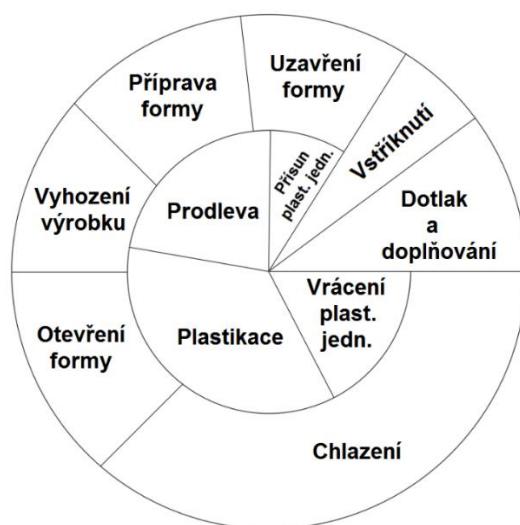


Obrázek 1.4 Vstřikovací cyklus [5]

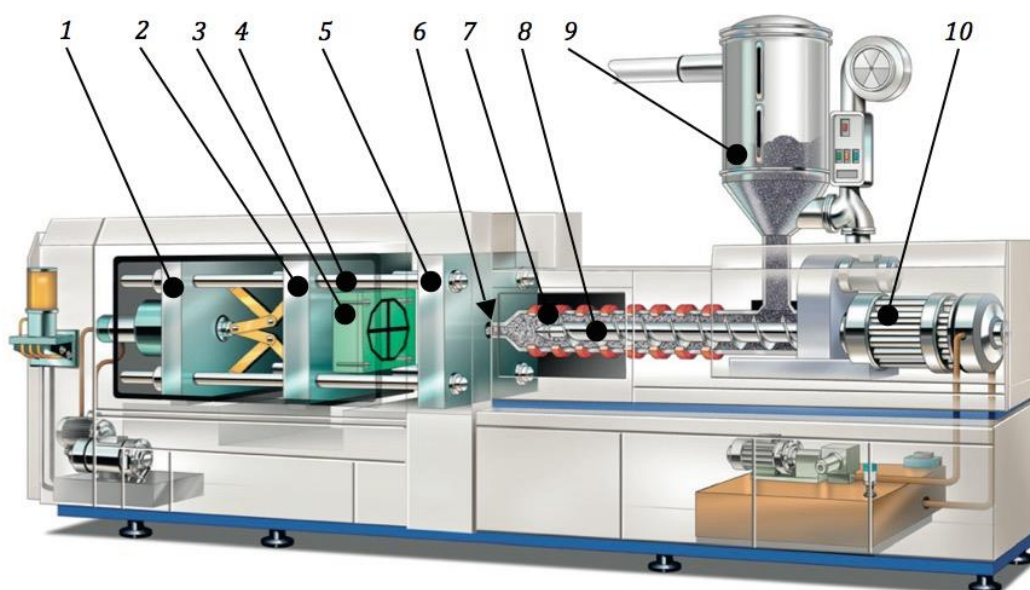
Vstřikovací cyklus je sled přesně specifikovaných postupových fází a kroků, které se svou činností podílí na výrobě vstřikovacího dílu. Během vstřikovacího cyklu plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Vstřikovací cyklus lze popsat z hlediska časového průběhu vstřikovacích tlaků nebo pomocí p-v-T diagramu [4]. Průběh vstřikovacího cyklu je znázorněn na obrázku 1.5.

Stroje ke vstřikování plastů mohou být z hlediska pohonu hydraulické, elektrické nebo hybridní. Vstřikovací stroje mají vstřikovací a uzavírací jednotku, které jsou na sobě nezávislé a jsou řízeny mikroprocesorovou jednotkou. Schéma vstřikovacího stroje je znázorněno na obrázku 1.6.

Kde, 1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolisu, 5 – pevná upínací deska vstřikolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovár, 10 – pohonná jednotka šneku [6]



Obrázek 1.5 Vstřikovací cyklus časový diagram [4]



Obrázek 1.6 Schéma vstřikovacího stroje [6]

1.4 Vlivy na kvalitu výlisku

Parametrů ovlivňující konečné vlastnosti a kvalitu výstřiku je u technologie vstřikování poměrně mnoho. O kvalitě rozhoduje druh plastu, technologické parametry, konstrukce formy a volba stroje. Jednotlivé parametry nikdy nepůsobí samostatně, ale vždy se ovlivňují navzájem [7][8].

Z hlediska výběru druhu plastu má na vlastnosti konečného výstřiku vliv: [7][8]

- Rychlost plastikace daného polymeru (požadujeme co nejkratší)
- Tekutost plastu (nesmí se měnit s teplotou příliš rychle)
- Dostatečná tepelná stabilita plastu
- Velikost vnitřního pnutí, které má být co nejnižší
- Smrštění plastu v jednotlivých směrech výrobku

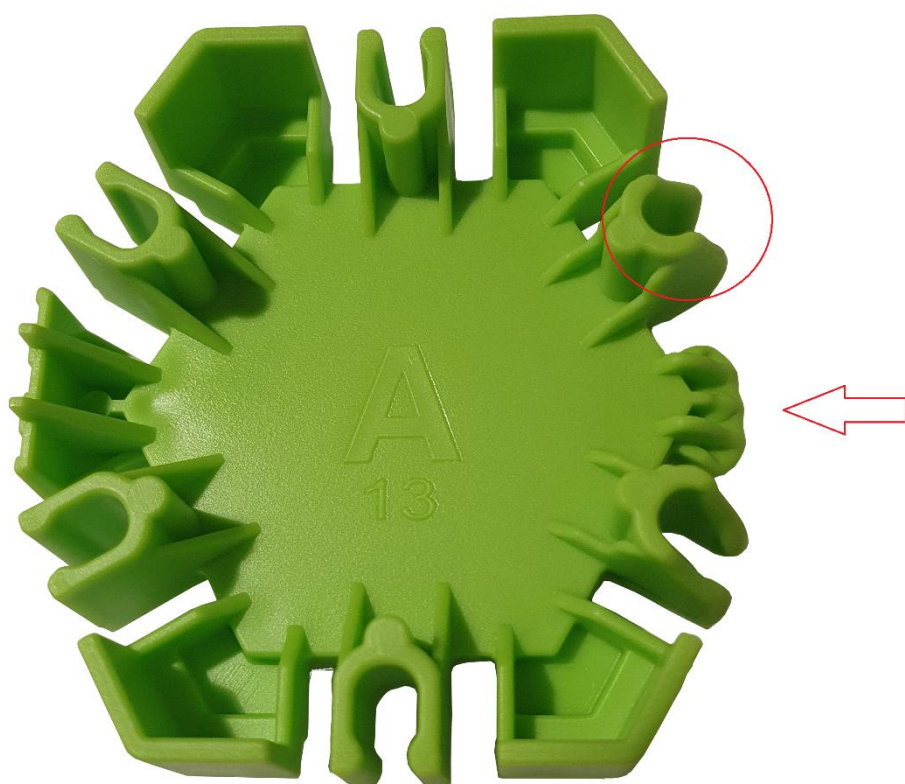
Z technologických parametrů má na vliv konečného výstřiku vliv: [7][8]

- Vstřikovací tlak (ovlivňuje rychlost plnění, sílu uzavírání, vnitřní pnutí, smrštění)
- Teplota formy (teplota závisí na druhu plastu a na charakteru výrobku, ovlivňuje také rychlost plnění, dobu chlazení, tekutost, dotlak a jiné)
- Teplota taveniny (také závisí na druhu plastu, ovlivňuje tekutost, tlak vstřikování, dobu chlazení tedy i dobu cyklu, tlakové ztráty)
- Rychlost plnění dutiny formy (měla by být co nejvyšší, ale je nutné kontrolovat teplotu taveniny)
- Výše a doba trvání dotlaku (ovlivňuje rozměry výrobku, smrštění a vnitřní pnutí)

Výstřik, kterým se bakalářská práce zabývá, má nejčastější vady:

- Část výrobku je nedolita
- Část výrobku je přelitá
- Odlišná barevnost (viz obrázek 6.5 Ukázka výrobků „OK“ a „NOK“)

Na obrázku 1.7 jsou v pravé části dílu vyznačeny červeně nedolité části. Tento díl vznikl úmyslným a hrubým změněním parametrů vstřikovacího cyklu u vstřikovacího lisu. Při správném nastavení vstřikovacího lisu však také nejsou všechny výlisky 100% správné. U těch jsou nedolité části a změna barevnosti mnohdy okem nerozpoznatelné. Přesto se považují za vadné kusy. Po dohodě s firmou jsme se rozhodli v této práci vyřešit problém barevnosti. Hardware má ale být připraven i na kontrolu tvaru. Nedolité části zatím řeší kontrola pomocí vážení, viz kapitola 2.3.3.



Obrázek 1.7 Defekt plastového dílu

2 SEZNÁMENÍ S FIRMOU

V následujících čtyřech podkapitolách je popsána produkce výrobků a seznámení s firmou Ravensburger Karton s.r.o. v Poličce, dále seznámení s oddělením lisovny plastů, kde je realizována celá práce. V neposlední řadě je popsán aktuální způsob kontroly výrobků na tomto oddělení a nakonec seznámení s výrobní buňkou, ke které bude realizována tato práce.

2.1 Ravensburger Karton v Poličce

Historie firmy Ravensburger Karton, dále jen RAVKA, sahá do konce 19. století, kdy Otto Maier založil nakladatelství v Ravensburgu. Jeho cíl byl spojit zábavu s učením. Počáteční produkty byly vzdělávací a rodinné hry, vzdělávací knihy a dětské příběhy. S dalšími generacemi se výrobní sortiment podstatně rozšířil, ale myšlenka vzdělávání byla zachována. V 70. letech začaly vznikat první dceřiné společnosti. Jednou z nich je právě RAVKA v Poličce. S nástupem elektroniky se společnost začala zabývat výrobou elektronických her, dokonce otevřela dceřinou společnost v USA, kde byl vyvíjen výukový software. Prioritou však stále zůstávají klasické hry [9].

Dnes firma RAVKA produkuje dětské hry, puzzle a společenské hry, jejichž veškerý návrh se uskutečňuje v mateřské pobočce v Německu. Samotná výroba poté probíhá v závodě na území České republiky v Poličce. V sortimentu nalezneme kromě společenských her a 2D puzzlí z kartonu také plastové 3D puzzle budov, automobilů a postaviček, které se vyrábí pomocí vstřikovacích lisů. Jedním z hlavních produktů v posledních letech, je interaktivní stavebnice GraviTrax, jejíž hlavní myšlenkou je sestavit dráhu pro kovovou kuličku, která je poháněna silnými neodymovými magnety. Právě jednu malou součástku z této stavebnice budeme kontrolovat v této práci. Hra Gravitrax je zobrazena na obrázku 2.1. Součástka, která má být kontrolována, a její vady jsou popsány v dalších kapitolách práce.

Objem produkce RAVKA v Poličce činí téměř 80 % celkové produkce firmy. Převážně se jedná o kartonářskou výrobu, avšak zpracování umělých hmot pomocí technologie vstřikování se také postupně rozšiřuje. Dále v celém komplexu nalezneme také oddělení přípravy, kde probíhá výroba polotovarů pro konečnou montáž. Dalším oddělením je konečná montáž, kde probíhá na 7 linkách finální montáž her a puzzlí. Oddělení Hedva se nachází mimo hlavní závod firmy, vyrábí se zde skládané krabice a ruční sestavy, oddělení je ideální pro maminky menších dětí a samoživitelky. Skladové prostory jsou další částí výrobního závodu, nalezneme zde přibližně 38 000 paletových míst. Většina výrobků se ze skladu expeduje v době předvánoční, kdy je o dětské hry největší zájem [10].



Obrázek 2.1 Hra Gravitrax [9]

2.2 Oddělení lisovny plastů

Lisovna plastů disponuje celkovou výrobní a skladovací plochou cca 5440 m² a zaměstnává 120 pracovníků. Probíhá zde nepřetržitý provoz při délce směny 12 hodin. Na tomto oddělení se lisují plastové komponenty, ze kterých se následně kompletují dětské hry a 3D puzzle. O celkový provoz se zde starají nástrojáři, seřizovači a obsluha vstřikolisů.

V lisovně se zpracovávají materiály jako PS, PP, PE, PC a POM. Tyto materiály jsou specifické tím, že neobsahují přidaná aditiva. Tím se považují za čisté a produkty z nich jsou ideální pro dětský trh.

Lisovna je rozdělena na 3 části: [10]

- Standard – zde se lisují figurky do společenských her, krabičky na hry a spousta dalších produktů
- 3D Puzzle – zde plně robotizované linky vyrábí 3D puzzle

- TipToi glóbusy – vyrábí se zde interaktivní glóbus, jehož součástí je tužka, která dokáže říct informace o daném státě/místě, pokud na něj hrotem tužky ukážeme.

V lisovně plastů je umístěno celkem 62 horizontálních vstřikolisů, nejčastěji německého výrobce Arburg. Velikost strojů posuzována dle uzavírací síly je v rozsahu 200 – 2000 kN. Převážná většina strojů je vybavena 3osým robotickým manipulátorem, také většinou značky Arburg nebo Whitmann, který slouží pro odebírání a ukládání výlisků od vstřikovacího stroje. Jako periferie ke vstřikovacím lisům zde nalezneme například sušičku granulátu, která bývá většinou umístěna přímo na stroji, dále dopravníkové pásy pro vyrobené produkty, baličky hotových dílů nebo také temperovací zařízení. V horní části výrobní haly jezdí nad stroji portálový jeřáb, který slouží pro manipulaci se stroji např. při úpravě výrobní buňky. Tento portálový jeřáb má nosnost až 3200 kg. Oddělení lisovny je zobrazeno na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2 Oddělení lisovny

2.3 Současná kontrola výrobků

Kvalitu vyprodukovaných výlisků je u všech komponentů her potřeba sledovat. Je to nedílnou součástí výrobního procesu. S každou kontrolou navíc klesá pravděpodobnost vyexpedování vadného kusu z výrobního závodu. Bonusem u technologie vstřikování je možnost vadné kusy vložit do drtiče, kde se plast pomele a následně jako regranulát

vstupuje opět do výrobního cyklu, čímž můžeme eliminovat ztrátu výrobního materiálu.

2.3.1 Pravidelná kontrola sjezdu

V oddělení lisovny provádějí 100% kontrolu čtyřikrát za hodinu a vždy se kontroluje celý sjezd (všechny kusy z jednoho otevření vstřikovací formy). Celý tento sjezd, zavařený ve fólii z balicího zařízení, se vloží do speciálně určených přepravek. Cílem je snížit zmetkovitost na lisovně a včas odhalit možné vady výrobků a tyto vady úpravou technologie odstranit. Každý pracovník (obsluha vstřikovacího stroje) má v popisu pracovních činností samokontrolu výroby na lisech, které obsluhuje. To je pouze zajištění, aby tato kontrola probíhala správným způsobem a v pravidelných intervalech. Kontrola byla tímto způsobem nastavena z důvodů velkého množství neshod, které byly odhaleny s velkým zpožděním.

Poté jsou každou hodinu výrobky ze speciálně určených přepravek kontrolovány procesní kontrolou (směnový mistr nebo pracovník). Tato kontrola vrací výrobky zpět mezi ostatní nekontrolované nejdříve po polovině, a následně před koncem směny. Mezi hlavní vady, zjevně viditelné, patří nedolité kusy, neprobarvené díly, nesvařený sáček z balicího zařízení, špatně osazené součástky do finálního výrobku nebo chybějící díl v sáčku. Podrobnější popis bude v následující kapitole.

2.3.2 Speciální testy

Další kontroly výrobků probíhají na speciálních přípravcích, kde se výrobek vystaví např. tlakovým a trhacím testům. Výlisky musí být dostatečně pevné, aby je děti například pouhým upuštěním na podlahu nebo běžnou manipulací nezničily. Tyto testy se většinou provádí pouze u prototypů hraček.

Dalším, nově zakoupeným, zařízením je systém IM od výrobce Keyence. Jedná se o optické měřicí zařízení, které je schopno plnohodnotně nahradit běžná měřidla jako jsou posuvná měřidla, mikrometry nebo mikroskopy. Zařízení je vhodné pro měření lisovaných dílů, plastových výlisků, obráběných dílů, ozubených kol a dalších jiných součástí.

2.3.3 Kontrola u výrobní buňky

V současnosti se u každé výrobní buňky, která vyrábí větší množství kusů na jeden sjezd, nachází přesná digitální váha. Díky ní je možné rozpoznat, zda jsou díly přelité či nedolité, viz kapitola o vstřikování termoplastů. Tato váha je umístěna za balicím zařízením, které zabalí celý sjezd do plastové fólie. Zabalený sjezd je poté přemístěn pomocí dopravníkového pásu k přesné digitální váze, která zváží jeho hmotnost. Součástí váhy je další dopravníkový pás. Pokud je balíček v toleranci $\pm 1g$, je vyhodnocen jako „OK“ a je dopravníkovým pásem přemístěn do přepravky správných kusů. V opačném případě, při vyhodnocení „NOK“, je přemístěn pomocí pásu do přepravky se špatnými kusy.

Dalším způsobem kontroly kvality výrobků u výrobních buněk je optická kontrola pomocí kamerového systému. Na oddělení lisovny se tyto zařízení vyskytují nejčastěji od výrobců Omron či Keyence. Kvůli jejich vysoké ceně bylo potřeba zvážit, kde bude mít jejich aplikování největší návratnost. Nyní se systém vyskytuje například u výroby glóbu tiptoi, kde je díky optické kontrole možné zaznamenávat přítomnost zvířat na určitém místě glóbu. Dále jsou systémy schopny měřit vzdálenosti, barevnost, četnost apod.

2.4 Seznámení s výrobní buňkou

Výrobní buňka, kterou se zabývá tato práce, slouží pro výrobu plastového dílů pro hru Gravitrax, viz obrázek 2.1. Buňka je téměř plně robotizována.

2.4.1 Popis výlisků

Na jeden cyklus vstřikovacího lisu se vyrobí 12 kusů výrobků, z toho 6 s označením „A“ a 6 s označením „B“. Pod tímto značením se vždy nachází číslo, které přesně určuje, ve které dutině formy byl daný kus vylisován. Tyto výrobky jsou zobrazeny na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3 Typy výrobků

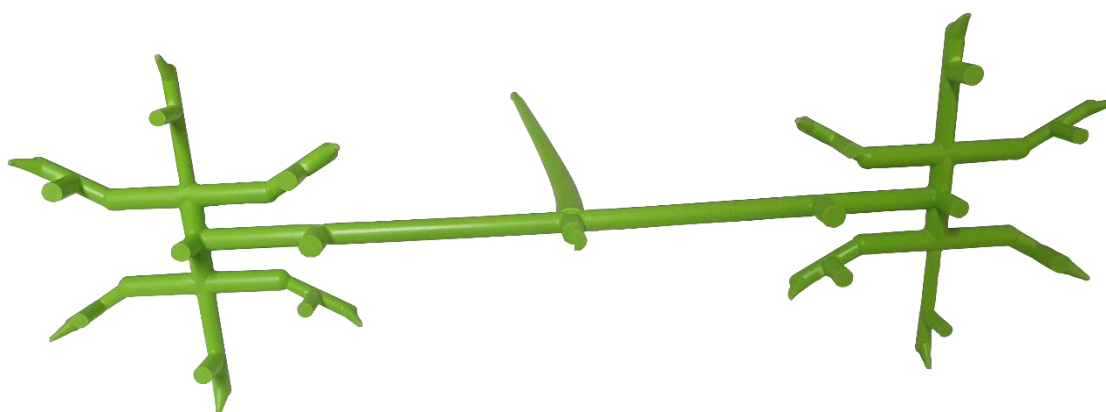
Oba typy mají totožnou barevnost. Ta je dána barvivem, které se mísí do granulátu. Rozměry obou kusů jsou stejné a činí 42 x 42 mm (šířka x délka). Rozměr výšky je odlišný, výrobek s označením „A“ je o 9 mm vyšší než s označením „B“. Parametry výrobků jsou vidět přehledně v tabulce 2.1.

Součástí výlisku po dokončení cyklu, který je odebrán z formy pomocí manipulátoru, je také studený vtok. Ten vznikne jako odpad ze vstřikování taveniny do formy. Vyobrazení studeného vtoku lze vidět na obrázku 2.4.

Tabulka 2.1 Parametry výrobků

Typ výrobku	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Barva
A	42	42	19	zelená
B	42	42	10	zelená

Z obrázku 2.3 je také vidět jiné konstrukční navržení dílu „A“ oproti dílu „B“. Kdy má díl „A“ z důvodů vyšších bočnic navíc zpevnění. Díky tomu je díl dostatečně pevný pro své účely.



Obrázek 2.4 Studený vtok

2.4.2 Zařízení na výrobní buňce

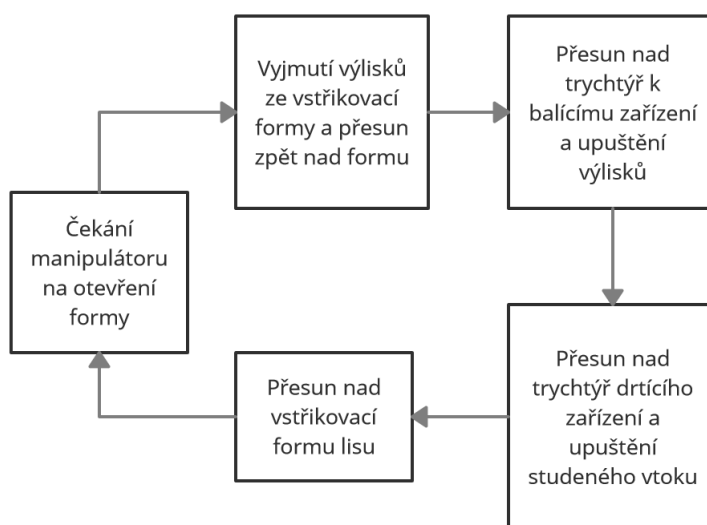
Hlavní komponentou celé výrobní buňky je vstřikovací lis značky Arburg s označením ALLROUNDER 570C GOLDEN EDITION. Součástí lisu je temperovací zařízení, které zajišťuje správnou teplotu formy, mísící zařízení pro barvení granulátu, ovládací panel pro ovládání lisu, zásobník s barvicím granulátem a další. Dále je k tomuto vstřikovacímu lisu osazen lineární robotický systém od výrobce Arburg s označením MULTILIFT SELECT 6. Úkolem tohoto manipulátoru je odebírat hotové výlisky z formy (po jejím otevření). Na manipulátoru je osazeno uchopovací zařízení (dále jen uchopovač), který obsahuje pneumatické přísavky. Uchopovač s výlisky je zobrazen na obrázku 2.6. Dále zde nalezneme drtící zařízení, které aktuálně slouží pro drcení studených vtoků.

Neposlední částí buňky je balicí zařízení, kde se zavaří všechny kusy výrobků, které se vyrobí na jeden vstřikovací cyklus. Součástí balicího zařízení je dopravníkový pás, na kterém se přesune zavařený sjezd ve fólii k digitální váze. U této váhy probíhá jedna z výše uvedených kontrol kvality. Poslední částí výrobní buňky je její oplocení za účelem bezpečnosti a palety s 25 kg pytlovaným bílým granulátem PS, který se pravidelně musí přesypat do zásobníku vstřikovacího lisu. Všechny zařízení na pracovišti jsou napájeny z rozvaděče, který obsahuje jak 3fázové zásuvky pro napájení větších strojů, tak 1fázové zásuvky pro napájení menších zařízení.

2.4.3 Výrobní cyklus

Proces samotného vstřikování lisu bude popsán v kapitole o technologii vstřikování. Zde bude popsán cyklus manipulátoru a ostatních zařízení od doby otevření vstřikovací formy s hotovými výlisky.

Po otevření formy se přemístí robotický manipulátor s uchopovačem tak, aby byl rovnoběžně ke vstřikovací formě. Pomocí sacích přísavek na uchopovači je možné vyjmout všechny výlisky z formy najednou včetně studeného vtoku, který je uchycen speciálními kleštinami. Následně se manipulátor přesune do prostoru nad vstřikovací formu, aby mohl začít nový cyklus vstřikování samotného lisu. Manipulátor se poté přesune do pozice nad plechový trychtýř, který je umístěn nad balicím zařízením. Sací přísavky upustí všech 12 výlisků, které se dále zpracovávají v balicím zařízení. Následně manipulátor (nyní už jen se studeným vtokem) přejede do pozice nad drtící zařízení, kde vtok upustí. Studený vtok je zařízením rozdrcen a poté odsán jako regranulát do vstřikovacího lisu. Manipulátor poté přejde do pozice nad vstřikovací formu, kde čeká na dokončení cyklu lisu a opět otevření vstřikovací formy. Pro lepší pochopení cyklu manipulátoru je přiložen obrázek 2.5.



Obrázek 2.5 Cyklus manipulátoru



Obrázek 2.6 Uchopovací zařízení s výlisky

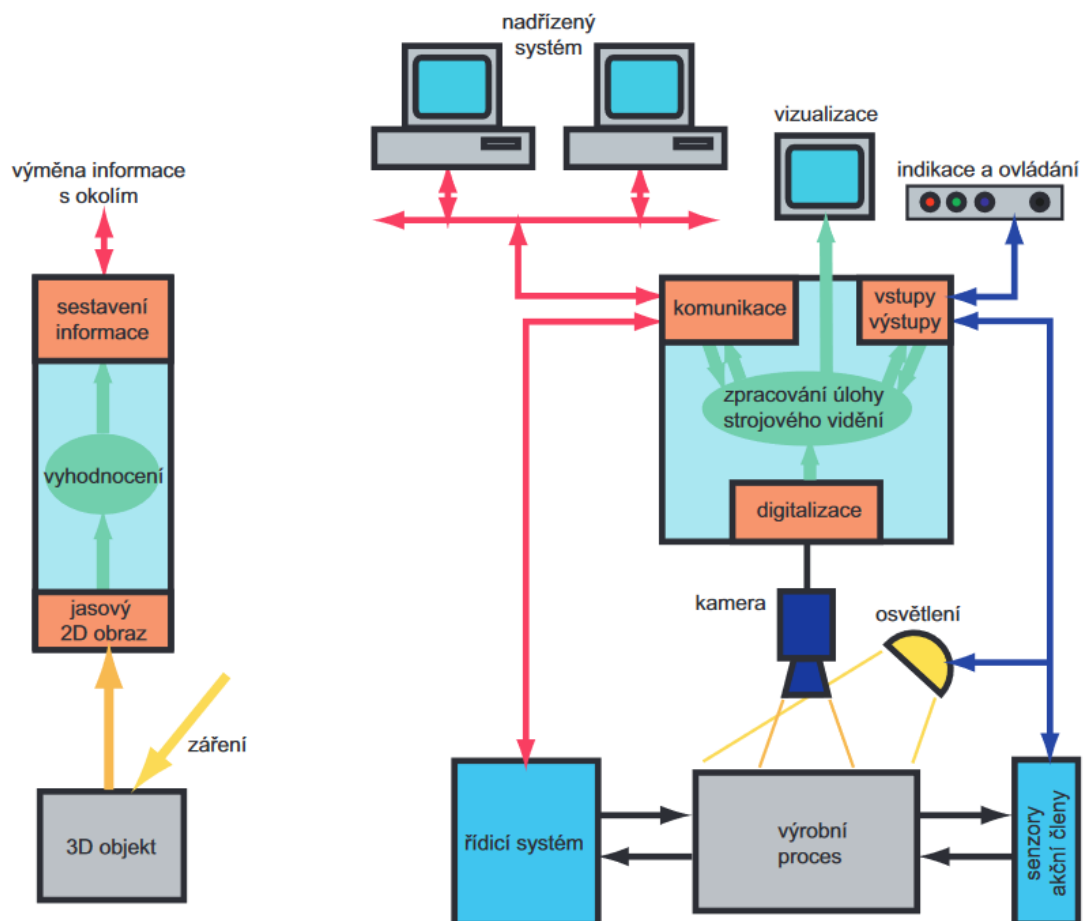
Celé uchopovací zařízení je zobrazeno na obrázku 2.6. Za povšimnutí stojí kleštinové uchycení studeného vtoku. Pro rám uchopovacího zařízení, jehož rozměr je 400 x 260 mm (výška x šířka), bylo navrženo konstantní pozadí pod výlisky z materiálu PETG.

3 NÁVRH ŘEŠENÍ POMOCÍ POČÍTAČOVÉHO VIDĚNÍ

3.1 Počítačové vidění

V 70. letech dvacátého století, kdy již bylo možné díky výpočetní technice zpracovávat velké objemy dat, vznikl nový obor s názvem „počítačové vidění“ (computer vision). Dnes to jsou systémy, které dokážou zpracovávat automaticky informace, které byly získány za pomoci kamery. Pro počítačové vidění používané v průmyslové výrobě se používá termín „strojové vidění“ (machine vision).

Strojové vidění je dnes přímo spojeno s výrobním procesem a má za úkol provádět vizuální kontrolu výrobků (předmětů), měřit viditelné parametry, počítat objekty, hledat defekty apod. Hlavní důvody, proč se dnes firmy (pro svou výrobu) o strojové vidění zajímají jsou zvyšování kvality produktů a snižování nákladů [11][12]. Obecné schéma strojového vidění je zobrazeno na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1 Obecné uspořádání systému strojového vidění [11]

Na obrázku 3.1 v levé části lze vidět princip zachycení informace ze zkoumaného objektu. Většinou trojrozměrný objekt je ozařován zdrojem záření, objekt musí být schopen záření odrazit tak, aby vznikl na snímacím prvku (senzoru) jasový dvourozměrný obraz. Dosažení tohoto požadavku není v reálném průmyslu mnohdy úplně jednoduché a ne vždy je možné vyzískat potřebnou informaci o měřeném objektu.

Následně je obraz převeden na vhodnou veličinu, aby z něj bylo možné získat potřebnou informaci. Ta je za pomoci vhodného rozhraní předána ze senzoru do okolí. Celková konstrukce senzoru je zobrazena na obrázku 3.1 v části pravé.

3.1.1 Princip počítačového vidění

Sledovaný objekt, který je ozářen (většinou z umělých zdrojů – osvětlovačů), je zachycen pomocí snímacího prvku kamery (kamera = objektiv + snímací CCD/CMOS prvek + elektronické obvody) na dvojrozměrný obraz. Měronosné veličiny mohou nést redukovanou informaci o jasů barevných složek (černobílé kamery) nebo mohou nést informaci o barvě objektu (barevné kamery). Následně jsou analogové měronosné veličiny zdigitalizovány na digitální obraz. Obrazové informace jsou následně zpracovány algoritmy, pomocí kterých vyzískáme potřebnou informaci o objektu. Tento proces se nazývá „image-processing“. Nakonec na základě vyhodnocení získanou informaci o objektu předáváme pomocí digitálních výstupů nebo komunikačního rozhraní do okolí. Výměna informací se systémem funguje jako zpětná vazba při řízení výrobního procesu. Kamerový systém získává informace z procesu (typicky povel pro pořízení snímku v okamžiku, kdy je objekt v nejvhodnější pozici). Po vyhodnocení vykoná kamerový systém zpátky akční zásah do procesu (např. výrobek „OK“ nebo „NOK“) [11][12][13].

3.1.2 Kategorie systémů

Zařízení, které lze vidět na obrázku 3.1 vpravo, je možné sestavit různými způsoby. Můžeme použít různou výpočetní techniku, systémové části lze libovolně kombinovat a integrovat. Časem se rozdělení strojového vidění ustálilo do čtyř kategorií s tím, že každá je zaměřena na jiný typ úloh [11]. Kategorie a jejich charakteristické znaky jsou zobrazeny v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 Kategorie a jejich charakteristické znaky [11]

Kategorie	Charakteristické znaky
Kamerový senzor	kompaktnost, zjednodušený hardware, omezené softwarové nástroje, omezené I/O, omezené komunikační možnosti, omezená třída použití, nižší cena
Inteligentní kamera	Kompaktnost, výkonný mikroprocesor, univerzální softwarové nástroje, více I/O, vyšší komunikační možnosti, široké možnosti použití, vyšší cena
PC systém	modularita, možnost více kamer, výkonný hardware PC, možnosti rozšíření, univerzální softwarové nástroje, široké komunikační možnosti, široké možnosti využití, vyšší cena
Zákaznický systém	nepatří do žádné z předchozích tříd, úplná podřízenost požadavkům zákazníka, speciální použití, velmi vysoká cena

3.2 Přehled požadavků firmy

Hlavními požadavky firmy pro měření kvality ve výrobní buňce jsou:

- Nízká cena zařízení (v řádu jednotek tisíc korun)
- Zařízení musí poskytovat rozhraní pro komunikaci s manipulátorem pomocí digitálních I/O vstupů
- Možnost měření barevnosti
- Možnost měření přelitých/nedolitých dílů – v plánu do budoucna
- Vyhodnocovat výslednou kvalitu výtisku jako „OK/NOK“

3.3 Přehled nutných požadavků pro implementaci zařízení

Hlavními požadavky pro implementaci zařízení do výrobní buňky jsou:

- Zařízení poskytuje dostatečný výpočetní výkon pro zpracování a vyhodnocení během času pohybu manipulátoru (přibližně 11 sekund)
- Zařízení musí poskytovat rozhraní pro komunikaci se vstřikovacím lisem
- Zařízení musí mít dostatečné softwarové vybavení pro naši úlohu
- Existence dokumentace a uživatelské komunity
- Možnost výběru kamery a objektivu pro zařízení

Byl proveden průzkum trhu v oblasti profesionálních kamerových systémů. Dle tabulky 3.1 byly automaticky zamítnuty kategorie, jejíž systémy jsou sice robustní, univerzální, s malou chybovostí apod., ale finančně nevyhovující našim požadavkům. V kategoriích

„kamerové senzory“ jsou systémy finančně přívětivější, ale přesto našim požadavkům nevyhovující. Navíc jsou nevyhovující i v omezených softwarových nástrojích.

Autor Pavel Škoda ve své diplomové práci [37] pro řešení barevnosti použil senzor pro měření barevnosti s označením *VEML6040*. Snímač je schopen snímat tři základní barvy v kombinaci s bílým světlem pomocí fotodiod. Řádově se tento senzor pohybuje v desítkách korun, což je z hlediska finančních nákladů velmi přívětivé. Avšak to neřeší měření tvaru, které má být podle požadavků firmy v budoucnu řešitelné na daném hardware.

Nabízí se možnost vyzkoušet univerzální mikropočítač s možností připojení kamerového modulu. Na trhu se vyskytuje spousta zařízení, které mají tuto možnost. Po dalším průzkumu bylo vyhodnoceno zařízení Raspberry Pi jako nejvhodnější [14][15].

3.4 Raspberry Pi

Zařízení Raspberry Pi, je jednodeskový mikropočítač o velikosti platební karty (85,6 mm x 56,0 mm x 21,0 mm). Je vyvíjen britskou nadací Raspberry Pi Foundation, jejíž cílem je podpořit výuku základů programování na školách. Později se ukázalo, že díky své univerzálnosti nalezne využití i v průmyslu, domácích aplikacích, robotice, meteorologii, IoT, domácích NAS serverech apod. Kromě univerzálnosti je lákavá i jeho nízká cena.

Raspberry Pi se dá také využít jako plnohodnotný počítač po připojení vstupních zařízení jako jsou myš a klávesnice pomocí USB portu. Přes HDMI výstup na počítači můžeme připojit také monitor. Možnost je i připojení k internetu pomocí ethernetovému portu nebo pomocí Wi-Fi. Skupina nenáročných uživatelů, která využívá pro své potřeby pouze e-mail nebo surfují po internetu, by si s tímto počítačem rozhodně vystačila.

Celý počítač je napájen pomocí microUSB adaptéru (tak jako dnešní smartphony), nebo přímým napojením 5V napájení na GPIO sběrnici. Při vyšším zatížení, dle tabulky od výrobce, je maximální odběr proudu 1,2 A u nejvyšší modelové řady.

Sběrnice GPIO je důkazem toho, proč si našel využití i v jiných odvětvích. GPIO sběrnice nabízí kromě volně programovatelných vstupů a výstupů taky sběrnici I2C, SPI, UART [16][17][18].

Deska počítače dále nabízí audio výstup v podobě 3,5 mm jack konektoru. Dále je zde možnost připojit kamerový modul prostřednictvím USB nebo CSI portu, toto rozhraní slouží aktuálně pouze pro Raspberry Pi kamerový modul a nemá jiné využití. Namísto pevného disku je deska vybavena slotem pro microSD kartu. Ta slouží jak pro bootování operačního systému, tak pro paměť programů a dat [18].

Parametry mikropočítačů jednotlivých modelů se mohou výrazně lišit. Parametrem, který se rapidně mění, je velikost paměti RAM. Dále je to počet USB portů, taktovací frekvence procesoru, možnost PoE, typ Bluetooth, kmitočty Wi-Fi apod. Neposledním parametrem je cena, která se také výrazně mění. Uživatel má tak možnost vyspecifikovat zařízení,

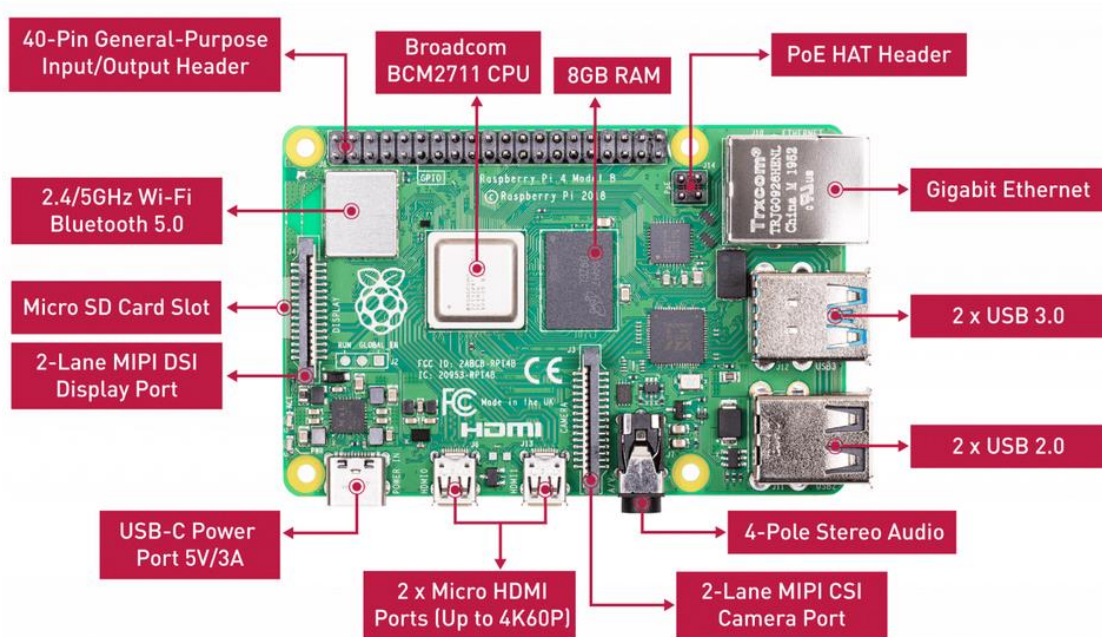
které se pro budoucí aplikaci bude nejlépe hodit.

V tabulce 3.2 jsou pro srovnání uvedeny parametry mikropočítačů Raspberry Pi, na základě které bylo vybráno nejvhodnější zařízení pro naši aplikaci.

Tabulka 3.2 Přehled modelů Raspberry Pi a jejich parametrů [16][17][19]

Model	Rpi - 1 B	Rpi - 2 B	Rpi - 3 B	Rpi - 4 B
Cena [Kč]	769	1029	949	2149
SOC	BCM2835	BCM2836	BCM2837	BCM2711
Ram	512 [MB]	1 [GB]	1 [GB] DDR2	1,2,4,8 [GB] LPDDR4
GPU	VideoCore IV	VideoCore IV	VideoCore IV	VideoCore VI
CPU frekvence	700 [MHz]	900 [MHz]	1.2 [GHz]	1.5 [GHz]
USB	2x USB2.0	4x USB2.0	4x USB2.0	2x USB3.0 + 2x USB2.0 + USB-C OTG
Video výstup	HDMI, RCA	HDMI, RCA	HDMI, RCA	HDMI, RCA
Ethernet	10/100 M	10/100 M	10/100M	Gigabit
GPIO	26 - pins	40 - pins	40 - pins	40 - pins
Camera	15 Pin CSI	15 Pin CSI	15 Pin CSI	15 Pin CSI
SD/MMC	SD, SDHC a SDXC	microSD	microSD	microSD
Wi-Fi	-	-	802.11n	802.11 - 2.4, 5 GHz
Bluetooth	-	-	4.1 LE	5.0
Typ napájení	microUSB nebo GPIO	microUSB nebo GPIO	microUSB nebo GPIO	USB-C nebo GPIO
Odběr proudu	700 [mA]	800 [mA]	1.34 [A]	1.25 [A]
PoE	-	-	-	ANO

V tabulce 3.2 jsou porovnány jednotlivé modely mikropočítače Raspberry Pi 1B, 2B, 3B a 4B. Na jejich základě je vyhodnoceno Raspberry Pi – model 4B jako nejvhodnější pro naše řešení, protože i přes nejvyšší cenovou relaci nabízí model nejvýkonnější paměť RAM (u které je možnost vybrat její velikost), nejvyšší taktovací frekvenci, nejvyšší přenosovou rychlost internetu apod. Typ 4B nabízí maximální univerzálnost, jakou můžeme v této cenové relaci nalézt. Samotné Raspberry Pi má na trhu také konkurenci v jednodeskových mikropočítačích, ale díky jeho bohaté komunitě a dokumentaci je pro řešení jasným vítězem. Mikropočítač Raspberry Pi model 4B lze vidět i s popisem na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2 Raspberry Pi 4B včetně popisu [20]

3.4.1 Kamerový modul

K mikropočítači Raspberry Pi lze připojit kameru. První možností je připojení univerzální webkamery prostřednictvím USB portu. Druhou možností je připojení kamerového modulu určeného přímo pro mikropočítač Raspberry Pi. Tento kamerový modul se připojuje prostřednictvím CSI kamerového portu, který lze vidět v dolní části na obrázku 3.2 [21].

Základními požadavky na výběr vhodné kamery jsou:

- Kompatibilita s Raspberry Pi
- Dostatečné rozlišení
- Přenosová rychlost
- Možnost výměny objektivu

Pro výběr vhodného kamerového modulu byla sestavena tabulka 3.3, kde jsou porovnány parametry dvou webkamer (funkčních s Raspberry Pi) a dvou nejvyšších modulů kamer určených speciálně pro Raspberry Pi.

Tabulka 3.3 Porovnání parametrů jednotlivých kamer [18][21][22][23]

Parametry	Webkamera Logitech C920s	Raspberry kamera V2	Rasperry HQ kamera	Waveshare Rpi Kamera
Cena [Kč]	2790	659	1499	729
Kompatibilita	částečná, může vykazovat chyby	ANO, plná kompatibilita	ANO, plná kompatibilita	ANO, plná kompatibilita
Maximální rozlišení	2 Mpx (1920x1080)	8 Mpx (3280x2464)	12,3 Mpx (4056x3040)	5 Mpx (1920x1080)
Přenosová rychlost	240 Mb/s	1 Gb/s	1 Gb/s	1 Gb/s
Připojení	USB port	CSI konektor	CSI konektor	CSI konektor
Nutnost doinstalování ovladačů	NE	NE	NE	NE
Typ objektivu	Integrovaný objektiv	M12 CS-mount	C-mount CS-mount	Integrovaný objektiv

Na základě tabulky 3.3, byl vyhodnocen kamerový modul s názvem „HQ Kamera“ jako nejvhodnější. Důvodem je nejvyšší rozlišení, plná kompatibilita s mikropočítačem, vysoká přenosová rychlost a příznivá cena.

HQ kamera, kterou lze vidět níže na obrázku 3.3, nám nabízí 12,3Mpx rozlišení (viz tabulka 3.3), čip typu CMOS a značky SONY IMX477R, jehož velikost je 7,67 mm x 5,47 mm (šířka x výška) a zaostřovací kroužek. Dále nám poskytuje velikost pixelu 1,55 x 1,55 μm a možnost použít objektiv s bajonetem typu C a CS díky redukci, která je součástí balení kamery. Kamera je připojena k mikropočítači pomocí ohebného 15žilového kabelu, jehož délka činí 200 mm [24].



Obrázek 3.3 HQ kamera pro Raspberry Pi [25]

3.4.2 Objektiv

Dalším klíčovým prvkem v hardwarové části kamerového systému je výběr objektivu.

Výrobce objektivů Arducam poskytuje bezplatnou možnost kalkulace ohniskové vzdálenosti potřebného objektivu na základě tří parametrů, kterými jsou [27]:

- Vzdálenost měřeného objektu od objektivu fotoaparátu
- Šířka snímané scény (velikost objektu)
- Formát obrazového snímače

Ze situace na výrobní buňce ve firmě Ravensburger vyplývá, že vzdálenost měřeného objektu od objektivu fotoaparátu činí přibližně 320 mm. Pro přesné umístění kamery s objektivem a osvětlení je navržena konstrukce sestavy s možností měnit vzdálenost jednotlivých komponentů dle potřeby v rozsahu 380 mm.

Šířka snímané scény je dána z kapitoly o technologii vstřikování, z které vyplývá, že stačí snímat dva nejvzdálenější kusy na uchopovači od místa vtoku roztaveného granulátu do vstřikovací formy, viz obrázek 2.6. Tato šířka činí 180 mm s minimální rezervou po stranách výlisků.

Formát obrazového snímače byl zjištěn na základě datasheetu výrobce Sony s označením IMX477-AACK. Diagonální vzdálenost činí 7,857 mm, což je typ čipu s označením 1/2.3" [24].

Na základě těchto tří parametrů, které byly vloženy do již zmíněné kalkulačky, byla vypočítána ohnisková vzdálenost o hodnotě 11,36 mm. Proto jsme jako nejvhodnější objektiv zvolili s 12mm ohniskovou vzdáleností. Pro naši bakalářskou práci byl použit objektiv Arducam CS1812ZM03, který je zobrazen na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4 Objektiv pro HQ kameru [26]

V tabulce 3.4 lze vidět parametry daného objektivu od výrobce Arducam. Objektiv byl vybrán na základě tří základních faktorů, kterými jsou ohnisková vzdálenost, možnost zaostření a možnost regulace clony. Pomocí otočných kroužků na objektivu můžeme nastavovat 2 parametry. Prvním parametrem je otvor clony, kterým proniká světlo. Pomocí tohoto kroužku můžeme clonu plně zavřít (*close* viz obrázek 3.4) nebo otevřít (*open*). Druhým parametrem je zaostření, které funguje od minimální vzdálenosti 20 cm.

Tabulka 3.4 Parametry vybraného objektivu [26]

Parametr	Hodnota
Optický formát	1/2,3"
Ohnisková vzdálenost	12,0mm
Světelnost	f/1,6
Ostření	Manuální
HFOV	30°
Konstrukce	6G + hliníková slitina
IR Filtr	Ano
Bajonet	CS
Minimální zaostřovací vzdálenost	0,2m
Rozměry	30mm x 29mm
Hmotnost	53g

3.5 Osvětlení

Osvětlení objektu pro inspekční zařízení je velmi důležité z hlediska počítačového vidění. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, objekt je nutné nasvětlit tak, aby bylo možné vyzískat z odraženého světla od objektu do senzoru potřebné informace o daném objektu.

Na základě obrázku 3.5 je vybráno z 6 druhů osvětlení, kterými jsou [18][28]:

- Kopulovitý
- S axiálním osvětlovacím polem
- S plošným osvětlovacím polem
- S temným zorným polem
- Se zadním osvětlením
- S kruhovým osvětlením

Při výběru vhodného osvětlení objektu je rozhodováno na základě jeho výhod a nevýhod.

V případě kopulovitého osvětlovače je výhoda, že poskytuje rozptýlené světlo, vhodné osvětlení zaoblených objektů nebo objektů s lesklým povrchem. Tato varianta je však zamítnuta, a to z důvodu nutnosti pokrýt celý sledovaný objekt, což není možné kvůli nedostatečnému prostoru kolem jezdícího manipulátoru s uchopovačem výlisků.

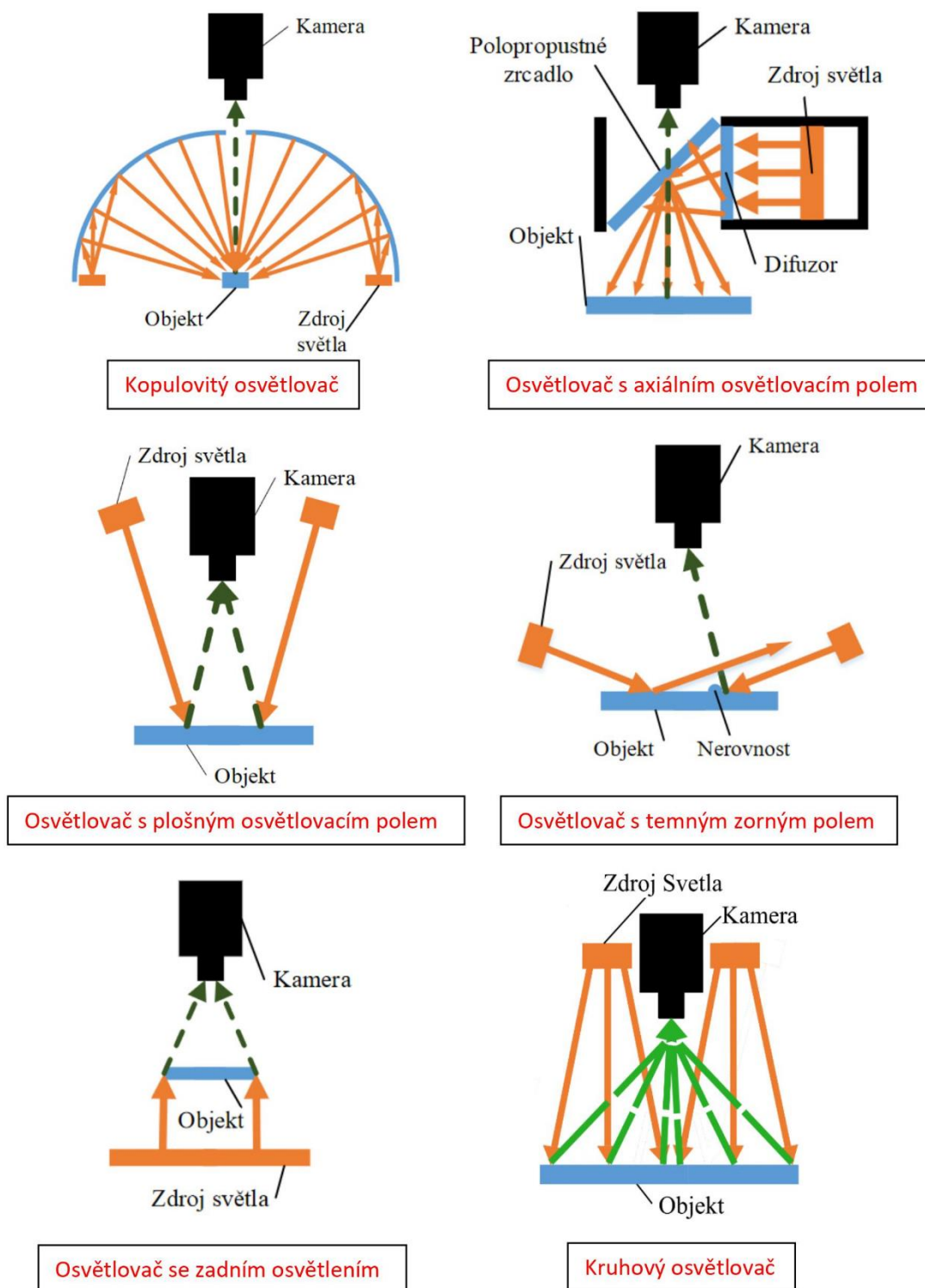
V případě osvětlovače s axiálním osvětlovacím polem je výhoda, že světlo rovnoměrně dopadá na celý objekt. Avšak cena tohoto osvětlení je velmi vysoká a samotné osvětlení je náročné na implementaci. Proto je tato varianta taktéž zamítnuta.

Dalším typem je osvětlovač s plošným osvětlovacím polem, mezi jehož výhody patří jednoduché nastavení směru osvětlení, avšak nevýhodou je možnost použití pouze pro nenáročné aplikace a může způsobovat nežádoucí odrazy nebo stíny. Navíc je osvětlení nerovnoměrné. Z těchto důvodů je tento typ osvětlení také zamítnut.

Dalším typem je osvětlovač s temným zorným polem. Mezi jeho hlavní výhody patří kolmost odraženého světla k objektivu a vysoký kontrast obrazu. Je nevhodný pro osvětlování hladkých povrchů, má pouze úzký okruh vhodných aplikací, dále vyžaduje malou vzdálenost od osvětleného povrchu, a proto je opět nevhodný.

V případě osvětlovače se zadním světlem je výhoda, že se hodí pro získávání obrysu zkoumaného objektu (což by se nám hodilo) a umožňuje získávat obraz objektu v přehledném pouzdře, které by jinak způsobovalo odrazy. Mezi další výhodu patří také nízké pořizovací náklady. Nevýhodou je potřebný prostor pro osvětlovač pod pozorovaným objektem (pro tuto práci konkrétně za uchopovačem výlisků), dále také to, že zobrazuje pouze hrany objektu. Tato varianta byla napříč těmito důvody opět zamítnuta.

Dalším typem je kruhový osvětlovač, jehož výhody jsou nízké pořizovací náklady (což je pro nás zásadní), dále jednoduchá montáž přímo na objektiv kamery (v naší práci součástí sestavy viz kapitola 4.3) a paprsky světla jsou koaxiálně s objektivem, což eliminuje vznik stínů. Nevýhodou je nižší osvětlení objektu oproti ostatním osvětlovačům, přesto je vyhodnocen jako nejlepší způsob osvětlení pro naši práci.



Obrázek 3.5 Způsoby osvětlení objektu [18][28]

4 NÁVRH HW VYBAVENÍ

Po výběru vhodných komponentů, je potřeba provést návrh a realizaci systému. Jako první bude popsán podrobný návrh a realizace krabičky s ventilátorem a reléovým modulem pro spínání osvětlení k mikropočítači Raspberry Pi. K tomu bude popsáno propojení kamerového modulu k mikropočítači a komunikace počítače s manipulátorem. Dalším bodem bude návrh a realizace osvětlení (rozměry osvětlení, typ LED pásku, způsob napájení apod.).

Dále bude popsán kolejnicový systém se zařízeními a jeho výhody.

4.1 Raspberry Pi box s kamerovým modulem

Pro mikropočítač Raspberry Pi je zrealizována krabička, která je sestavena z několika plastových dílů. Výroba těchto dílů je provedena pomocí 3D tiskárny z materiálu PETG. Samotný mikropočítač je do krabičky přimontován pomocí instalačních děr, které se vyskytují přímo na desce mikropočítače. Pro estetičnost uchycení jsou matičky uschovány v kapsách spodního dílu krabičky. Krabička mikropočítače obsahuje otvory pro připojení vstupních/výstupních periférií. Uvnitř krabičky je na samostatném dílu přimontován ventilátor na 5V napájení, který je připojen přímo na GPIO sběrnici. Tento ventilátor je umístěn 2 cm nad hliníkovým chladičem, který je přilepen pomocí teplovodivé pasty k procesoru mikropočítače. Pro přívod vzduchu do krabičky k mikropočítači jsou bočnice krabičky zhotoveny s pravidelnými otvory v mřížkovém tvaru. Další komponentou v krabičce je reléový modul pro spínání osvětlení.

4.1.1 Kamerový modul s objektivem

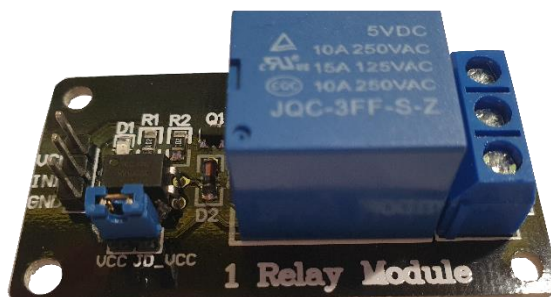
Kamerový modul (HQ kamera) s vybraným objektivem (viz kapitola 3.4.2) je připevněn ke krabičce s mikropočítačem pomocí čtyř šroubů velikosti M2. Kamerový kabel (15žilový) je protažen otvorem krabičky a připojen do CSI portu na mikropočítači. Pro správné nastavení clony a zaostření, slouží na objektivu mezikroužky, které se po správném nastavení dají zajistit pomocí aretačních šroubů přímo od výrobce objektivu.

4.1.2 Reléový modul

Reléový modul, který je součástí krabičky mikropočítače, slouží pro řízené spínání osvětlení od mikropočítače. Osvětlení se spíná vždy v momentě příchozího signálu od manipulátoru, který značí, že je v pozici před kamerou s hotovými výlisky.

Při výběru modulu je dbáno na spínací napětí a proud a také možnost ovládat cívku relé z mikropočítače. Jako vhodné zařízení je vybrán modul od firmy ECLIPSER. Jedná se o

modul se spínacím relé, který je doplněn o zabudovaný optočlen. Tento modul je zobrazen na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1 Modul relé pro spínání osvětlení

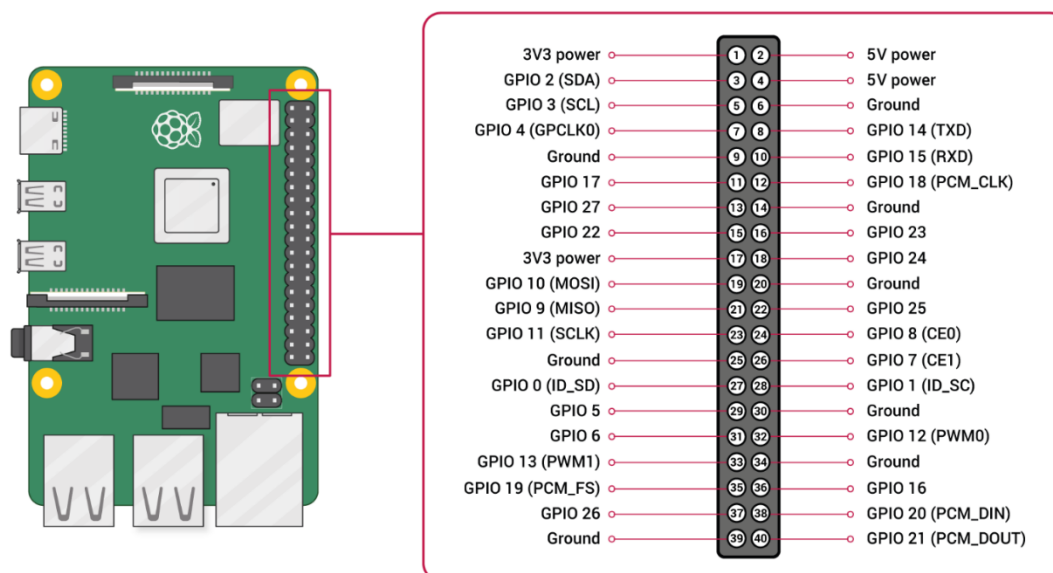
Modul disponuje možností nastavení napájení relé za pomoci propojovacího jumperu. Na desce modulu je umístěna signalizační dioda, která značí, zda je relé sepnuto (svítí) či vypnuto (nesvítí). Relé se spíná v případě přivedení logické 0 na pin s označením IN1 [29]. Celková specifikace modulu je zobrazena v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1 Parametry vybraného modulu [29]

Parametr	Hodnota
Napájení	5 V DC
Provozní proud (aktivní výstup)	76 mA
Spínací proud vstupu	2 mA
Max. spínané stejnosměrné napětí	30 V DC
Max. spínaný výkon (DC)	90 W
Elektrická životnost	10^5
Mechanická životnost	10^7

4.1.3 Propojení a komunikace

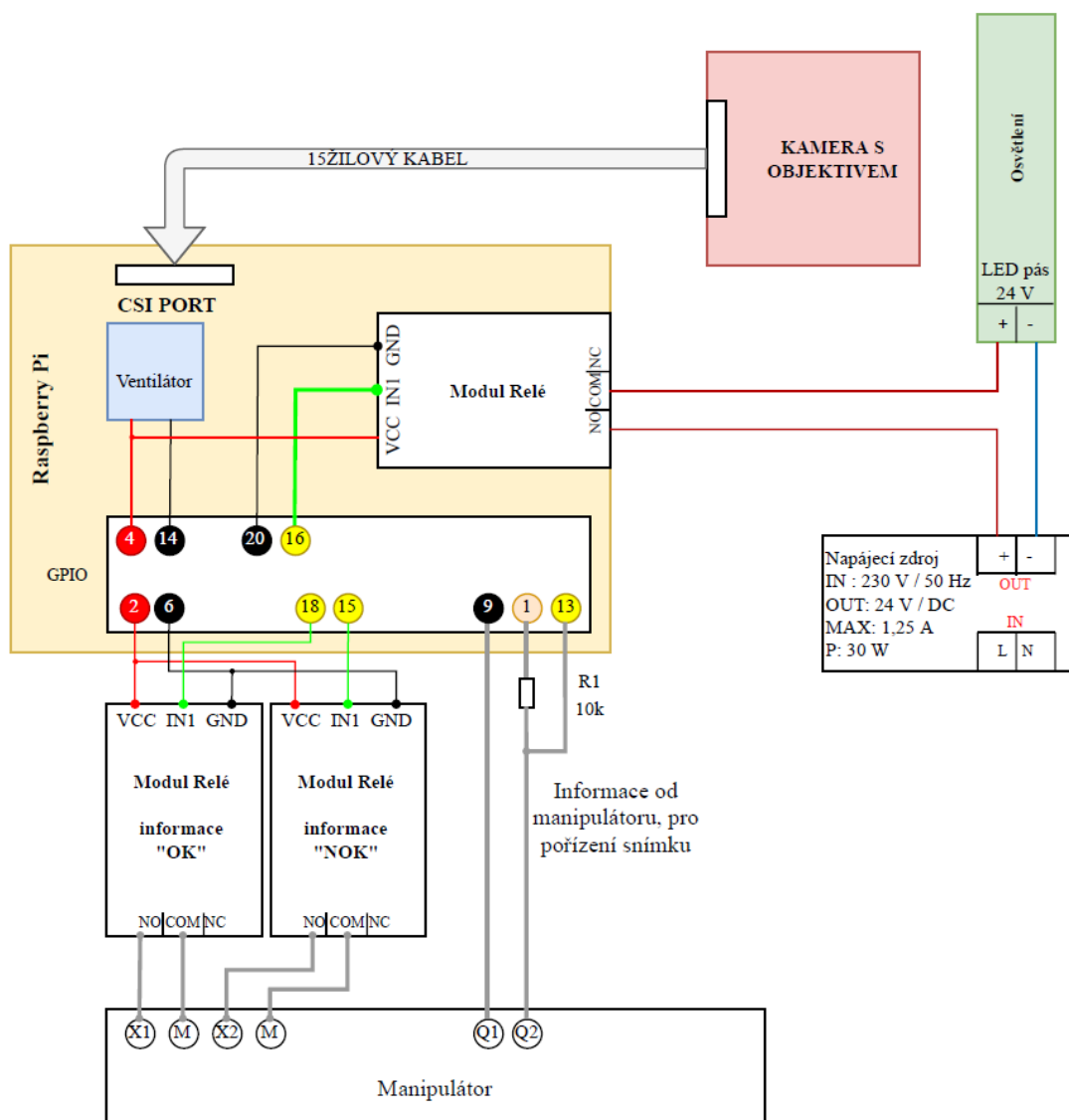
Pro komunikaci s manipulátorem slouží opět reléové moduly, viz kapitola 4.1.2. Reléové moduly spínají řídicí signály z GPIO sběrnice mikropočítače. Označení jednotlivých pinů GPIO sběrnice a jejich obecné využití je znázorněno na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2 Popis pinů GPIO sběrnice mikropočítače [16]

Konkrétní zapojení komunikace je zobrazeno na obrázku 4.3, kde jsou piny číselně označeny podle jejich pozice přesně jako na obrázku 4.2. Na obrázcích je vidět propojení kamerového modulu pomocí 15žilového kabelu do CSI portu na mikropočítači, zapojení ventilátoru, všech modulů relé pro komunikaci či spínání osvětlení, dále zapojení a parametry napájecího zdroje pro osvětlení a nakonec propojení modulů s manipulátorem, včetně svorek s označením. Světle červené vodiče značí napájecí napětí 5 V, které napájí ventilátor a moduly. Černá barva vodičů značí připojení GND. Zelenou barvou jsou vyznačeny vodiče pro připojení GPIO vstupů.

Světle oranžovou barvou (s označením svorky „1“) je označen pin s výstupním napětím 3,3 V. Za povšimnutí také stojí rezistor s označením „R1“ a hodnotou 10 kΩ. Tento rezistor slouží pro snížení hodnoty proudu, který prochází po sepnutí kontaktu v manipulátoru, na GPIO vstup (žlutě označený).



Obrázek 4.3 Schéma zapojení mikropočítače s osvětlením a komunikací

Tabulka 4.2 Komunikace měřicího zařízení s manipulátorem

STAVY	RELÉ		INFORMACE
	OK	NOK	
STAV 1	0	0	ČEKÁNÍ NA SIGNÁL PRO POŘÍZENÍ SNÍMKU
STAV 2	0	1	VÝROBEK NOK
STAV 3	1	0	VÝROBEK OK
STAV 4	1	1	ZPRACOVÁVÁNÍ INFORMACE

Stavy a komunikace mezi měřicím zařízením a manipulátorem jsou v tabulce 4.2.

4.2 Osvětlení

Rám osvětlení je realizován pomocí 3D tiskárny z materiálu PETG. Namísto kruhového tvaru rámu je zvolen šestihranný polygon, a to z důvodu nalepení LED pásků, které se nedají vytvarovat do oblouku. V plastovém rámu je drážka, do které je osazena hliníková lišta, na kterou je teprve nalepen LED pásek a to po 10centimetrových částech. Hliníková lišta zároveň pomáhá v roznesení tepla vzniklého od LED pásku. Do hliníkové lišty je nasazen mléčný difuzor se zaoblením, který slouží pro rovnoměrné rozložení svitu osvětlení.

Celkové osvětlení je tedy složeno z šesti 10cm LED pásků, které jsou propojeny pomocí vodičů. Jedná se o LED pás na napájecí napětí 24 V. Barva LED je teplá bílá. Celkový výkon osvětlení je 8,64 W. Napájecí zdroj od výrobce STRONG je určen přímo pro napájení LED pásků, které jsou také od výrobce STRONG. Parametry napájecího zdroje k osvětlovači jsou zobrazeny přehledně v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3 Parametry napájecího zdroje pro osvětlení

Parametr	Hodnota
Vstupní napětí	230 V / AC
Kmitočet	50 Hz
Výstupní napětí	24 V / DC
Max. proud	1,25 A
Max. výkon	30 W

Obrázek sestavy, ve které je i část osvětlení, je zobrazen na obrázku 4.4.

4.3 Kolejnicový systém

Veškeré komponenty jsou propojeny pomocí kolejnicového systému. Každá komponenta (kamerový modul i krabička s mikropočítačem) mohou samostatně jezdit nezávisle na sobě po kolejnicovém systému. Díky tomuto je možné libovolně na místě, kde je potřeba měřit, měnit vzdálenost jednotlivých komponentů od měřeného objektu. Tak je možné zajistit co nejlepší vlastnosti pro měření objektu a získání potřebných informací. Celý kolejnicový systém je dlouhý 40 cm. Pomocí závitových tyčí, které prochází komponenty, je možné matickami zafixovat danou komponentu v určité vzdálenosti od objektu. To zabraňuje okolním vlivům jakkoli pohybovat měřicím systémem.



Obrázek 4.4 Měřicí zařízení na kolejnicovém systému

4.4 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce měřicího systému je navržena z lehkých hliníkových profilů velikosti 40 x 40 mm od výrobce ITEM. Tento výrobce se přímo zabývá řešením konstrukčních stavebnicových systémů pro průmyslové aplikace. Pomocí online konfiguratoru, který tato firma zákazníkům nabízí, je navržena nosná konstrukce. Konfigurator umožňuje navrhout konstrukci do nejmenších detailů, např. stavitelné nožky ± 8 cm, dále možnost konstrukci přimontovat k zemi pomocí speciálních úchytek. Všechny otevřené řezy profilů jsou zakryty krytkami. Konstrukce pro měřicí systém je zobrazena na obrázku 4.5.



Obrázek 4.5 Návrh nosné konstrukce pro měřicí systém

Součástí práce je v příloze dokument, který je vygenerován pomocí konfiguratoru. Tento dokument obsahuje výpis materiálu, který je potřeba pro sestavení konstrukce, jako jsou profily a jejich délky, krytky, stavitelné nožky, spojovací materiál. Součástí je i podrobný montážní návod celé konstrukce. Díky vygenerovanému dokumentu z konfiguratoru je

poté možné pro mnoho firem sestavit potřebnou věc v co nejkratším čase, a to bez chyb jako je špatné objednání materiálu, špatné poskládání apod.

5 SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ

5.1 Operační systém Raspberry Pi

Pro zařízení Raspberry Pi existuje několik variant operačních systémů. Záleží, jaké jsou požadavky na využití. Lze použít operační systém určený pro multimediální centrum, audio systém, pro hraní retro her apod. [38]

Základním operačním systémem je Raspberry Pi OS (Raspbian). Tento operační systém je přímo vyvíjen nadací Raspberry Pi. Operační systém je odvozen od Debianu Buster, hlavní výhodou je zpětná kompatibilita se starším modelem Raspberry Pi. Raspbian lze vybrat v následujících 3 variantách:

- Raspberry Pi OS (32-bit) Desktop – obsahuje základní instalaci s výchozím grafickým rozhraním (podobné jako u Windows). Díky desktopovému prostředí je vše plně a jednoduše ovladatelné. Tento operační systém využívá poměrně dost RAM a CPU.
- Raspberry PI OS (32-bit) Desktop s doporučeným softwarem – jedná se o stejný operační systém jako je předchozí, bonusem však je doinstalované velké množství předinstalovaného softwaru pro výuku, přehrávání médií, programování, zobrazování fotek, internetových prohlížečů apod. Tento operační systém využívá velké množství paměti SD karty a také zpomaluje RAM a CPU.
- Raspberry PI OS (32-bit) Lite – jedná se o minimální sadu balíčků v operačním systému. Tento systém nemá grafické rozhraní nebo desktopové prostředí. Tato verze vyžaduje větší znalosti příkazů systému Linux. Na druhou stranu tato verze využívá minimální množství paměti RAM a využití CPU.

Mezi další operační systémy pro Raspberry Pi můžeme zařadit LibreELEC, Risc Os, Xbian, Twister, OSMC, RetroPie, Lakka, Volumio, Ubuntu Core, Kali Linux apod. Každý operační systém je vhodný pro jiné využití.

Pro naši práci je vybrán operační systém Raspberry Pi OS (32-bit) Lite, a to z důvodu plné kompatibility s periferiemi (kamerový modul), možností instalace OpenCV, využití zkušeností jiných uživatelů, a minimálního využití paměti RAM a jednotky CPU.

Operační systémy jsou volně ke stažení z oficiálních stránek Raspberry Pi a to ve formátu .zip, který obsahuje image operačního systému. V našem případě je operační systém nainstalován skrze instalátor NOOBS. Díky tomu je možné upravovat nastavení vybraného nainstalovaného OS, měnit rozložení klávesnice, poskytnutí ONLINE-HELP (pouze po připojení k internetu), nastavení výstupu obrazu apod.

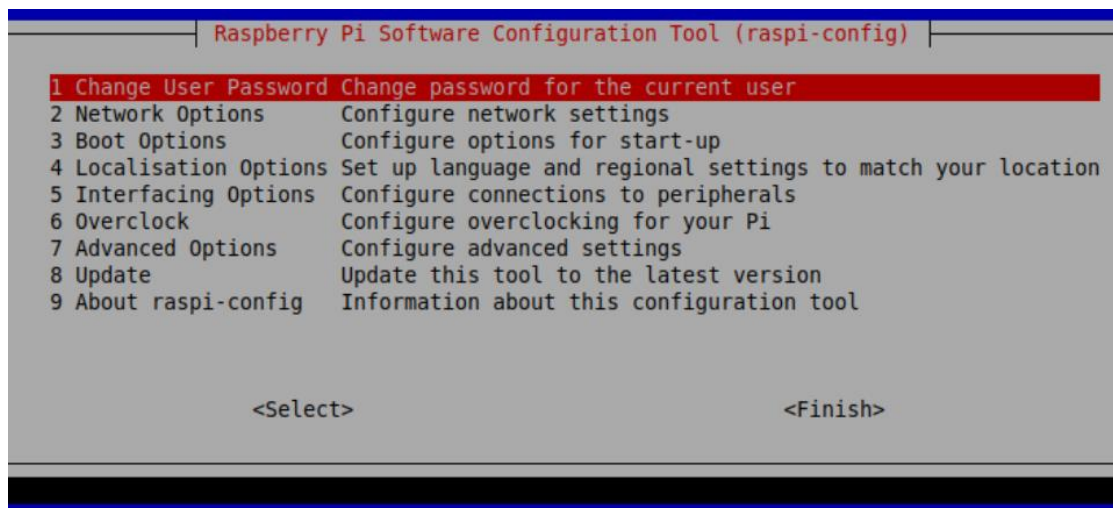
5.2 Spuštění a základní nastavení

Při prvním spuštění mikropočítače Raspberry Pi se doporučuje připojit vstupní a výstupní periferie, jako je monitor (HDMI), klávesnice (USB) a myš (USB). Po zapnutí mikropočítače se spustí bootování a příkazový řádek, kde je potřeba se přihlásit přes uživatelské jméno a heslo. Defaultně je nastaveno jméno: PI a heslo: RASPBERRY.

Poté po zadání příkazu:

```
>> sudo raspi-config
```

se otevře menu s možností nastavení Raspberry Pi, které lze vidět na obrázku 5.1. V tomto menu lze nastavovat změnu hesla (z důvodu bezpečnosti), síťovou konfiguraci (hostname, Wi-Fi), možnost bootování při spuštění, volbu jazyka a rozložení klávesnice, povolení jednotlivých hardwarových periférií (pro naši práci kamerový modul), přetaktování procesoru, nastavení MicroSD karty na plnou velikost apod.



Obrázek 5.1 Konfigurační menu Raspberry Pi

Po připojení Raspberry Pi k internetu je potřeba systém aktualizovat z příkazového řádku za pomoci následujících příkazů:

```
>> sudo apt-get update  
>> sudo apt-get upgrade
```

Po automatickém resetování pomocí příkazů je mikropočítač připraven na instalaci dalšího softwaru.

5.3 Raspberry Pi – kamerový modul

Aby bylo možné použít kamerový modul, je nutné jej nejprve aktivovat (povolit) v nastavení, a to pouhým zaškrtnutím políčka Enable. Po aktivaci je možné kamerový modul přímo otestovat pomocí příkazů:

```
>> raspistill -o Destop/image-small.jpg -w 640 -h 480
>> raspivid -o Desktop/video.h264 -t 5000
```

V prvním případě je vytvořena fotografie o velikosti 640 x 480, její název je image-small.jpg a je umístěna do adresáře Desktop v zařízení.

Ve druhém případě je vytvořeno video, které má stejné umístění jako předchozí fotografie, a parametrem t je určena délka videa na hodnotu 5000ms.

Pro samotnou aplikaci vyhodnocení je potřeba zpřístupnit kamerový modul skrze programovací jazyk Python. Toho je možné docílit zadáním následujících příkazů:

```
>> sudo apt-get install python-picamera python3-picamera
>> python3 -c "import picamera"
```

Prvním příkazem je vykonána instalace balíku pro zpřístupnění Raspberry Pi kamery skrze Python a druhým příkazem je samotný import knihovny ověřen. Pokud konzola nenahlásí chybu, je možné používat kamerový modul pomocí Python 3.

5.4 Knihovna OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) je open-source knihovna určená pro zpracování obrazu. Vývoj této knihovny OpenCV započal okolo roku 1999 společností Intel. Dnes má knihovna více než 2500 optimalizovaných algoritmů počítačového vidění a strojového učení. Tyto algoritmy lze použít k detekci a rozpoznávání tváří, identifikaci objektů, klasifikaci lidské činnosti ve videích, sledování pohybujících se objektů, odstraňování červených očí ze snímku, sledování pohybu očí a mnoho dalšího. Knihovna je hojně využívána ve společnostech, výzkumných skupinách, a dokonce i vládními orgány. Zajímavostí je například využití při monitorování důlního vybavení v Číně, kontrola přistávacích drah civilních letadel v Turecku nebo kontrola štítků na výrobcích v továrnách po celém světě.

Knihovna má podporu programovacích jazyků C, C++, Java, Matlab a může nejčastěji běžet pod operačním systémem Linux, Mac OS, Windows a Android [31].

5.4.1 Instalace OpenCV do Raspberry Pi

Pro zpracování obrazových informací je do mikropočítače Raspberry Pi nainstalována knihovna OpenCV (viz kapitola 5.4). Knihovna obsahuje spoustu funkcí, díky kterým je možné obrázky spojovat, zmenšovat, zvětšovat, ořezávat, měnit jejich barvu, rozostřit, vypočítat histogramy apod. Instalace knihovny OpenCV probíhá v několika krocích. Celý průběh instalace je zobrazen v Příloha A - [18][30][31].

5.5 Python GPIO

Raspberry-gpio-python, nebo také RPi.GPIO je modul Pythonu pro ovládání GPIO rozhraní mikropočítače Raspberry Pi. Tento modul je defaultně nainstalován součástí operačního systému Rasbian. Pro použití tohoto modulu je v programu nutné jej naimportovat pomocí příkazu:

```
>> import RPi.GPIO as GPIO
>> GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
```

Poté po referenci na jednotlivé piny GPIO sběrnice je možné nastavit daný pin jako vstupní či výstupní. Toho se dá docílit příkazem:

```
>> GPIO.setup(channel, GPIO.IN)    # VSTUPNÍ
>> GPIO.setup(channel, GPIO.OUT)   # VÝSTUPNÍ
```

Pro nastavení hodnoty GPIO pinu na logickou 1 nebo logickou 0, využijeme příkaz:

```
>> GPIO.output(channel, state)
```

Kde *channel* je GPIO pin a *state* je stav, jaký chceme nastavit. Tedy logická 1, nebo logická 0.

Pro čtení hodnoty na vstupním GPIO pinu slouží příkaz:

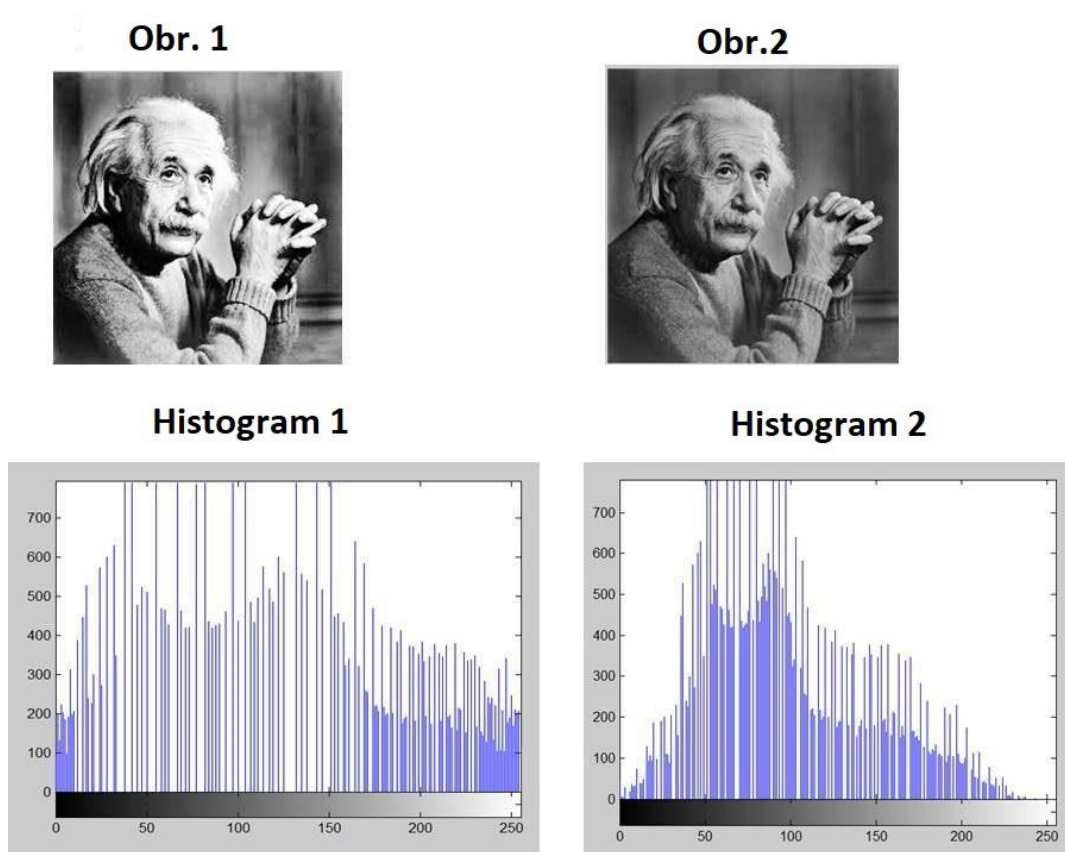
```
>> GPIO.input(channel)
```

Návratová hodnota příkazu je buď logická 0 (False), nebo logická 1 (True).

6 ALGORITMUS VYHODNOCENÍ

6.1 Histogram

V kontextu zpracování obrazu představuje histogram hodnotu počtu pixelů jednotlivých jasových složek v obraze. U 8bitového šedo-tónového obrazu existuje 256 možných intenzit šedi. Avšak histogramy se dají pořizovat i z barevných obrázků. První způsob je vytvoření 3 histogramů pro každou barevnou složku zvlášť (červená, zelená, modrá) a poté tyto histogramy spojit do jednoho. Druhým způsobem je vytvořit trojrozměrný histogram, jehož tři osy představují červený, zelený a modrý kanál a jas v každém bodě představuje počet pixelů. Důležité je vědět, že určitému obrazu odpovídá právě jeden histogram, avšak histogramu může odpovídat tisíce obrazů. Pro představu, jak histogram šedo-tónového obrázku vypadá, je přiložen obrázek 6.1 [32][33].

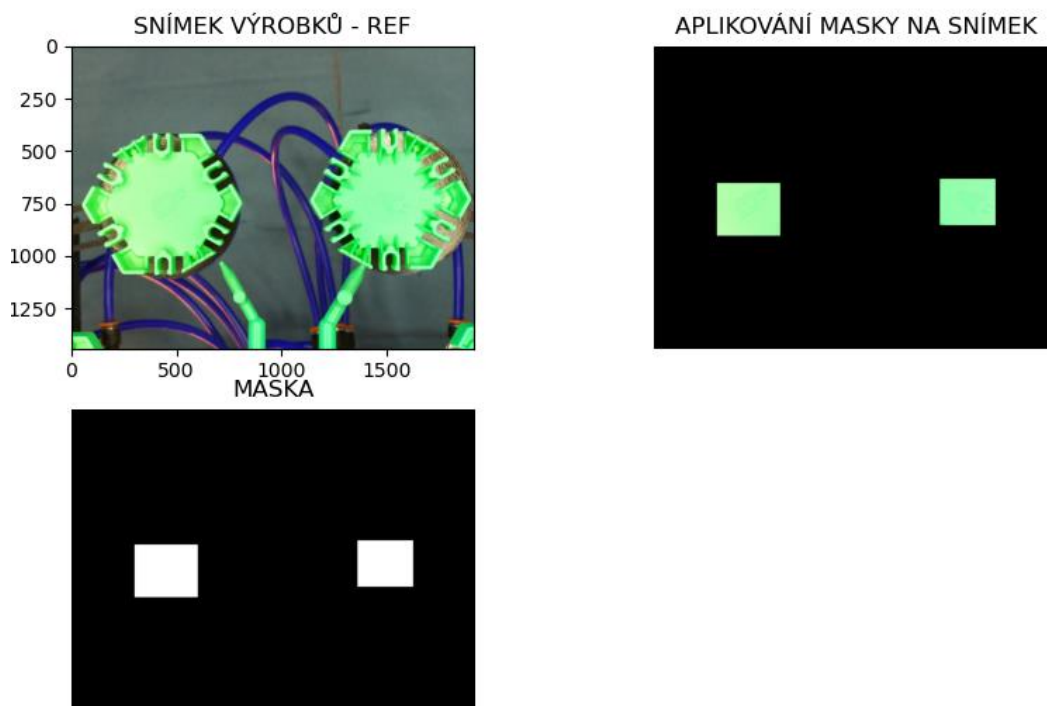


Obrázek 6.1 Ukázka dvou obrázků s histogramy

Na vodorovné ose histogramu lze vidět stupeň šedi od černé (hodnota 0 – vlevo) do bílé (hodnota 255 – vpravo). Na první pohled je z *Obr.2* patrné, že je mnohem tmavší, což koresponduje s jeho *Histogramem 2*, který zobrazuje větší množství pixelů v nižším

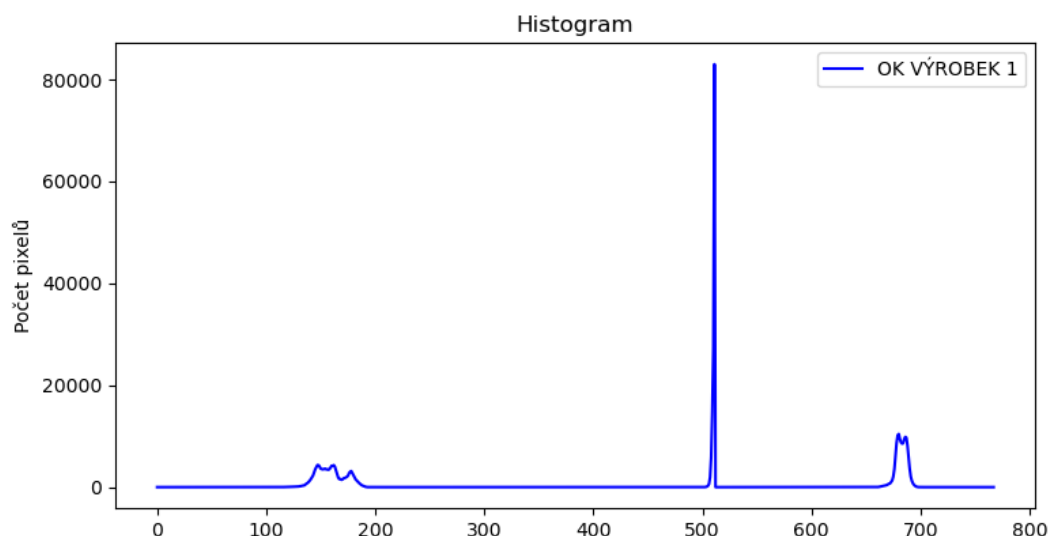
odstínu šedé.

V našem případě je pro rozpoznání barvy výlisků vytvořen histogram z barevného obrázku. Aby byl vytvořen histogram vždy ze stejné části dílu, je na snímek dílu aplikovaná maska, která zobrazuje vždy jen střed výlisku, a z té je teprve udělán barevný histogram. Snímek výrobku, masky a její aplikování je zobrazeno na obrázku 6.2.



Obrázek 6.2 Maska a její aplikace na snímek

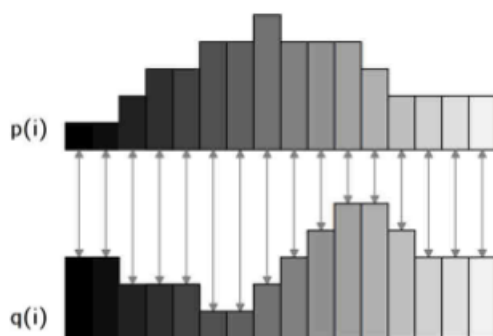
Ze snímku, na kterém je aplikovaná maska, se vytvoří histogram. Histogramy červeného, zeleného a modrého odstínu se počítají zvlášť a poté se spojí za sebe. Tím je vytvořen histogram barevného obrázku. Histogram snímku výrobku, na který je aplikována maska, je zobrazen na obrázku 6.3. Z histogramu lze vidět, že vodorovná osa X obsahuje hodnoty v rozsahu $0 - 768$, což odpovídá třem za sebe poskládaným histogramům každé barevné složky zvlášť (3×256). Histogramy jsou v pořadí modrý, zelený, červený.



Obrázek 6.3 Histogram barevných složek (B,G,R) výrobku

6.1.1 Porovnání histogramů

Pro analýzu histogramu můžeme použít metodu díl po dílu (bin-by-bin) a to konkrétně vzdálenost Minkowského. Tato metoda porovnává pouze části histogramů se stejnými indexy. Princip této metody je zobrazen na obrázku 6.4.[34]

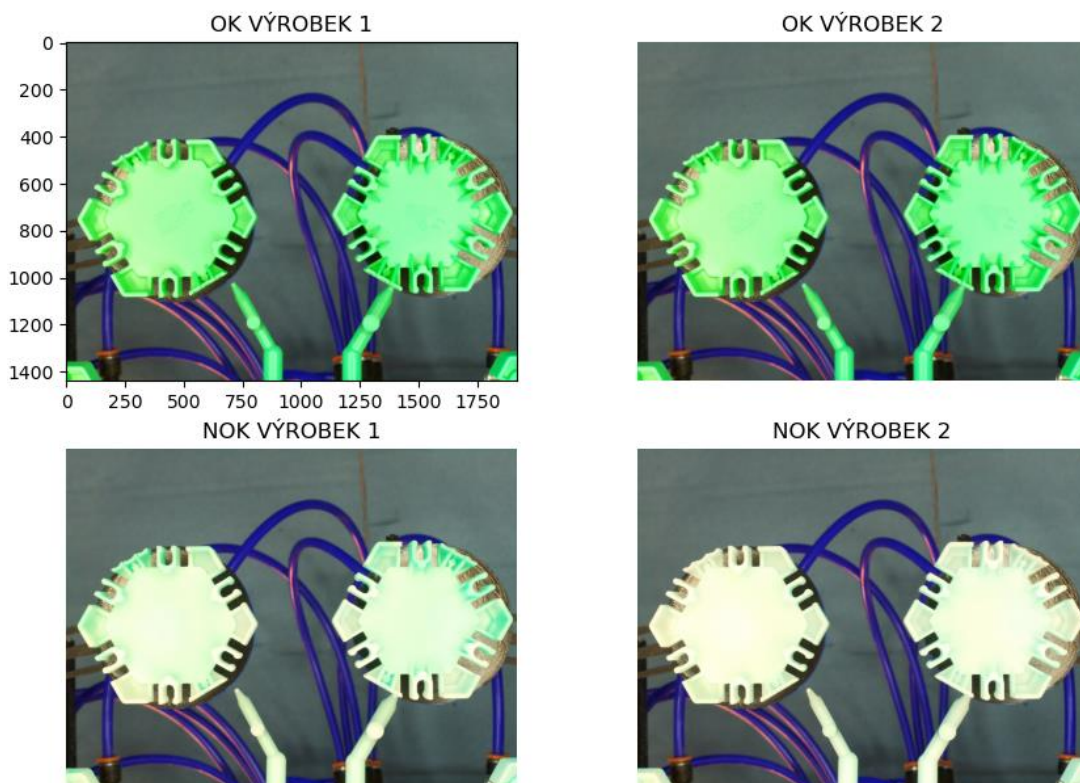


Obrázek 6.4 Metoda díl po dílu [34]

Minkowského vzdálenost je definována pomocí L^p normy. Nejčastěji používanými normami jsou poté L^1 , L^2 a L^∞ . Jejich názvy jsou Manhattan, Euclidean, Chessboard. Pro naši analýzu histogramů je vybrána norma L^2 (Euclidean). Pro výpočet této vzdálenosti platí vztah [34]:

$$d^{L^2}(p, q) = \sqrt{(\sum_i (p(i) - q(i))^2)}, \quad (6.1)$$

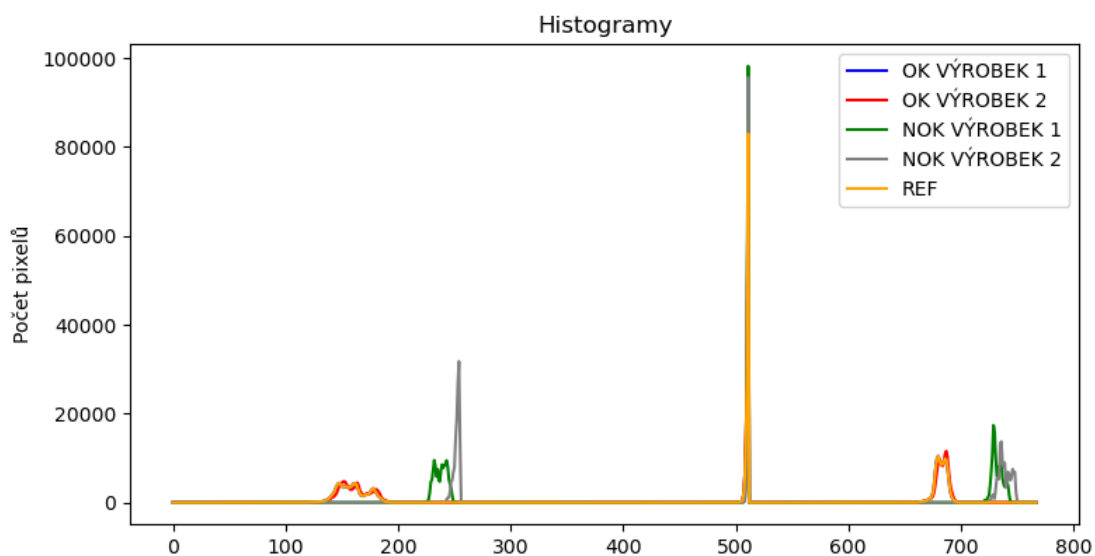
Na základě tohoto výpočtu je možné porovnat aktuální snímek výrobků se snímkem s referenčními výrobky, které jsou považovány jako „OK“. Na obrázku 6.5 jsou zobrazeny výrobky s označením „OK“ a „NOK“.



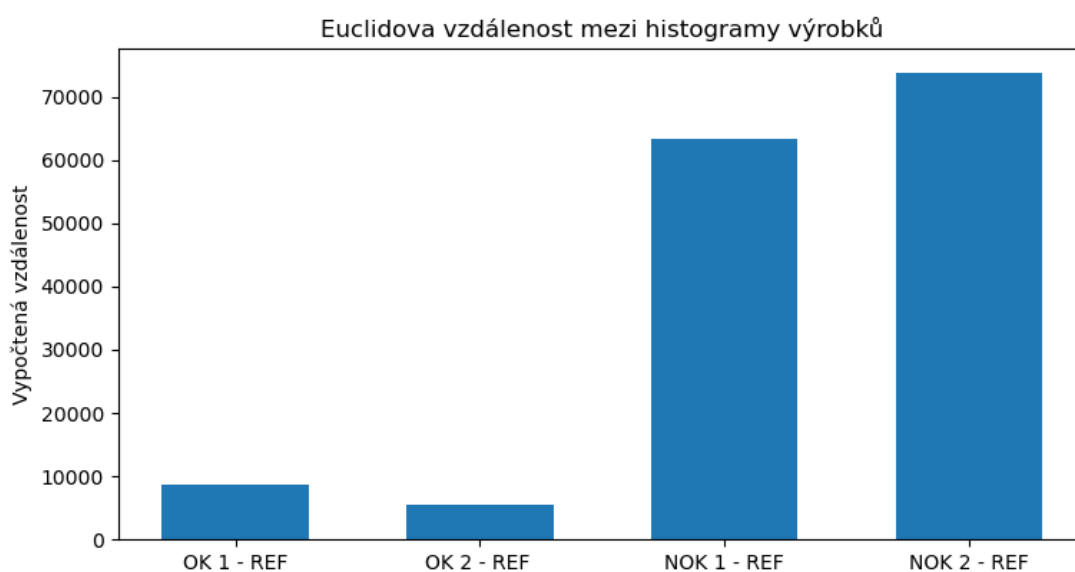
Obrázek 6.5 Ukázka výrobků „OK“ a „NOK“

Na obrázku 6.5 je u „OK VÝROBEK 1“ zobrazena osa X a Y . Jedná se o rozlišení snímku (1920 x 1440) pixelů. S tímto rozlišením jsou snímány i další výrobky.

Na obrázku 6.6 a 6.7 jsou zobrazeny histogramy jednotlivých výrobků a také sloupcový graf vypočítané vzdálenosti (viz rovnice (6.1) od referenčního kusu. Z histogramů není až tak patrný jejich rozdíl, avšak po zobrazení vypočtené vzdálenosti je vidět rozdíl markantní.



Obrázek 6.6 Histogramy jednotlivých snímků s výrobky



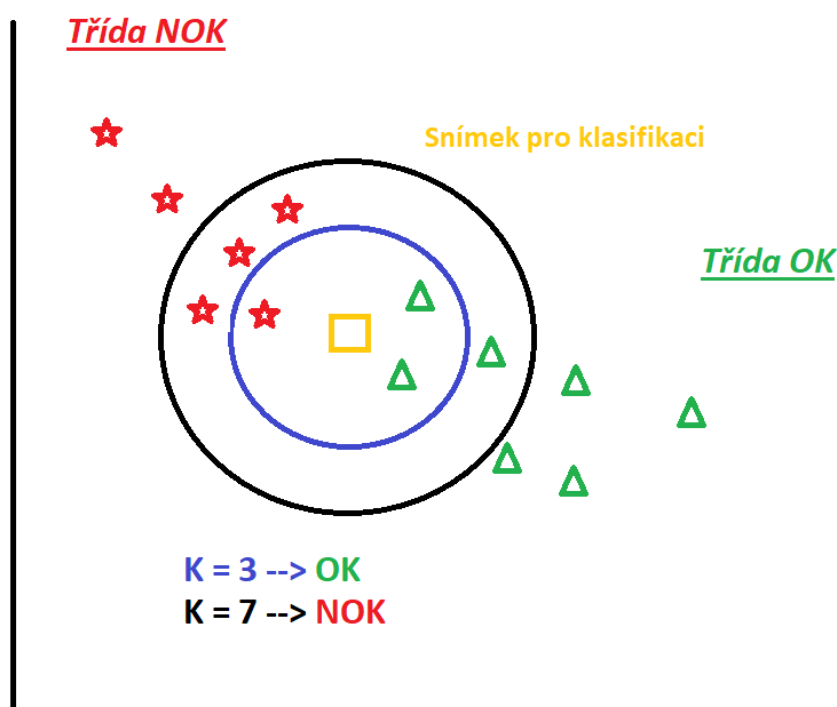
Obrázek 6.7 Vypočtená vzdálenost histogramů mezi výrobky

Z grafu 6.7 je vidět, že vzdálenost *OK 1 – REF* má hodnotu do 10 000, přitom jsou oba kusy považovány za „OK“, to může být způsobeno šumem. Vypočtením vzdáleností mezi všemi nasnímanými „OK“ kusy je zjištěno, že hodnota vzdálenosti není vyšší než 12 000. Na základě této hodnoty je v algoritmu nastavena hodnota „prahu“ na 13 000, kdy se odlišují kusy „OK“ a „NOK“.

6.2 Algoritmus k-nejblížších sousedů (KNN)

KNN (k-nearest neighbors) algoritmus je jeden ze základních algoritmů používaných v oblasti strojového učení pro řešení regresních a klasifikačních problémů. Algoritmy KNN používají data a klasifikují nové datové body na základě podobnosti (např. funkce vzdálenosti).[35][36]

Princip KNN pro naši práci je zobrazen na obrázku 6.8.



Obrázek 6.8 Princip KNN algoritmu pro naši práci

Pomocí funkce vzdálenosti je vypočítána vzdálenost histogramu pro klasifikaci (žlutý obdélník) od jednotlivých bodů z třídy *OK* (zeleně vyznačeny prvky) a *NOK* (červeně vyznačeny prvky). Parametr K určuje počet nejbližších sousedů. Z obrázku 6.8 je patrné, že pro $K = 3$ v kruhu nejbližších sousedů převládá počet prvků *OK* (zeleně vyznačeny) a tedy zařadíme prvek do **třídy OK**. V opačném případě, kdy $K = 7$ převládá počet prvků *NOK* (červeně vyznačeny), a tedy zařadíme prvek do **třídy NOK**. Zásadní je u tohoto algoritmu volit parametr K jako liché číslo, a to z důvodu, aby vždy převládala svými prvky jedna ze tříd (*OK* nebo *NOK*).

7 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Ověření funkčnosti a spolehlivosti inspekčního zařízení proběhlo ve firmě pouze na zkušební dobu. Manipulátor s výrobky najel před inspekční zařízení přesně 360krát. V průběhu měření byla úmyslně změněna hodnota mísení granulátu s barvivem. Propojení komunikace s manipulátorem nebylo realizováno, a to z technických důvodů nutnosti upravovat konektor pro vyvedení vstupů a výstupů z manipulátoru. To ovšem firma věděla a také nechtěla v tuto chvíli do manipulátoru drasticky zasahovat. Reálné nasazení si firma provede sama v nejbližších měsících, až proběhne odstávka linky. Předtím by však bylo vhodné vytvořit nový uchopovač s konstantním pozadím, což by zvýšilo přesnost detekce a umožnilo by poté možnost měřit dolité/nedolité části výrobků. Důležitý je pro firmu průzkum možnosti snímat výrobky a vyhodnocovat kvalitu. Komunikace však byla simulována pomocí LED diod a tlačítka na testovacím pracovišti. Předpokladem pro správnou funkčnost algoritmu na principu porovnání histogramů je konstantní osvětlení výrobků. Protože se jednalo o „*low-cost*“ zařízení, bylo dosaženo konstantního osvětlení pomocí světla a také kartonových desek, které napomohly odrušit denní světlo a vytvořit konstantní světelné podmínky. V „boxu“ se tedy vyskytovalo měřicí zařízení a osvětlení. Horní strana boxu byla minimálně otevřena tak, aby mohl manipulátor s uchopovačem výrobků vjet do měřicího boxu před objektiv s kamerou. Při tomto konstantním osvětlení v měřicím boxu bylo měření kvality mnohem přesnější.

Během testování a vyhodnocování bylo zařízení umístěno ve výrobní buňce. Problém však byl, že jakákoli změna parametru mísení barviva na obslužném panelu vstřikovacího stroje se projevila až po 6-10 vstřikovacích cyklech. Z toho důvodu nebylo možné námi určit, které výrobky jsou ještě „OK“ a které „NOK“. Proto byla součástí měření přítomna kvalifikovaná osoba, která má za úkol kontrolovat kvalitu výrobků na výrobní buňce. Poté bylo možné spustit měřicí zařízení a porovnávat jeho výsledky s výsledky kvalifikované osoby.

Během prvních 100 cyklů bylo nutné nalézt dvě hodnoty práhu. První hodnota práhu určuje rozdíl mezi „OK“ výrobky a „SPORNÝMI“ výrobky. Druhá hodnota práhu určuje rozdíl mezi „SPORNÝMI“ výrobky a „NOK“ výrobky. Tyto hodnoty byly nalezeny a bylo možné zařízení otestovat na dalších 260 cyklech. Obsluha vstřikovacího stroje postupně zmenšovala parametr mísení barviva k čistému granulátu až do stavu, kdy byly výrobky téměř bílé, a poté opět parametr zvyšovala na standardní hodnotu. Z celkového počtu 260 cyklů vyhodnotila kvalifikovaná osoba 85 cyklů jako „OK“. Dalších 35 cyklů jako „SPORNÉ“ a zbylých 140 cyklů jako „NOK“. Paralelně s tím byly zapisovány hodnoty „OK“ a „NOK“ od měřicího zařízení. Přehledně jsou hodnoty číselně zobrazeny v tabulce 7.1, a graficky v Příloha B -.

Tabulka 7.1 Porovnání vyhodnocení kvality na 260 cyklech (1.algoritmus)

Euclidovská vzdálenost	OSOBA	KAM. SYSTÉM
OK	85	100
NOK	140	160
SPORNÉ	35	-

Z tabulky je patrné, že vyhodnocení kamerového systému vyhodnotilo 9 cyklů jako „OK“ zatímco osoba jako „SPORNÉ“. Jedná se o hranici, kterou lidské oko není schopno na první pohled rozeznat, zatímco kamerový systém ano. Úspěšnost tohoto algoritmu byla na testovací cykly velmi dobrá. Avšak jeho nevýhodou je porovnávání s referenčním snímkem výrobku, který musí být nasnímán se stejným konstantním osvětlením, jako výrobky, které budou měřeny v dalších cyklech.

V případě nutnosti měřit větší počet kusů nebo implementovat měřicí systém na jiný typ výrobků, je nutné změnit v programu masku. Poté by bylo nutné nalézt hodnotu parametru „distance“ (viz Příloha E -), který určuje práh mezi dobrými a špatnými kusy.

Tabulka 7.2 Porovnání vyhodnocení kvality na 260 cyklech (2.algoritmus)

KNN	OSOBA	KAM. SYSTÉM
OK	85	97
SPORNÉ	35	-
NOK	140	163

V případě nasazení algoritmu K-NN na vyhodnocení byly rozděleny třídy na „OK“ a „NOK“ po prvních 100 testovacích cyklech. Následujících 260 cyklů byl algoritmus testován. Parametr K byl zvolen na hodnotu rovnu 3. Výsledky systému měření byly v porovnání s výsledky kvalifikované osoby velmi podobné jako v případě prvního algoritmu, viz tabulka 7.2. Výhodou tohoto algoritmu je jednoduchá implementace na měření jiného počtu výrobků, jinou barevnost, nebo dokonce na zcela jiný výrobek. Pro implementaci stačí pouze nahrát sadu snímků s „OK“ výrobky a sadu snímků s „NOK“ výrobky.

7.1 Možnosti zdokonalení systému

Systém měření kvality bakalářské práce je funkční, avšak je ještě spousta věcí, které by jej mohly vylepšit:

- Vytvoření kvalitního měřicího boxu, který odstíní okolní rušivé světlo a dosáhne tak konstantních světelných podmínek na měření
- Klasifikace kvality výrobků pomocí neuronových sítí
- Měření přelitých a nedolitých částí (zatím firma nepožadovala, avšak hardwarové komponenty jsou na to připraveny)
- Vytvoření uchopovače s celoplošným a konstantním pozadím, což je finančně náročné a musí to schválit vedení firmy.

Možnost realizovat první bod se odvíjí od ochoty firmy investovat finanční prostředky do boxu, ve kterém by mělo být konstantní osvětlení.

8 ZÁVĚR

V této práci byl nejprve udělán průzkum v oblasti plastových výrobků, princip technologie vstřikování a vady, které se u této technologie mohou nejčastěji vyskytnout. Byl proveden a popsán průzkum současné kontroly kvality výrobků na oddělení lisovny ve firmě Ravensburger s.r.o v Poličce. Pro detekci vad u konkrétní výrobní buňky bylo navrženo a zrealizováno měřicí zařízení. Zařízení mělo být provedeno v ekonomické verzi. Z tohoto důvodu byl vybrán, jako výpočetní zařízení, mikropočítač Raspberry Pi 4B včetně kamerového modulu s označením HQ Raspberry Pi kamera.

Návrh začal výběrem vhodného modelu mikropočítače v kapitole 3.4, kde bylo vybíráno mezi čtyřmi verzemi mikropočítačů Raspberry Pi. Současně s tím byl proveden výběr kamerového modulu (viz kapitola 3.4.1), který je plně kompatibilní s mikropočítačem. Ke kamerovému modulu byl vybrán kompatibilní objektiv s označením Arducam CS1812ZM03 (viz 3.4.2), který má bajonet CS-mount, 12mm ohniskovou vzdálenost a disponuje možností nastavit clonu a zaostření pomocí otočných kroužků.

Kapitola 3.5 se zabývá výběrem vhodného osvětlení pro nasvětlení výrobků, kde bylo vybráno jako nejlepší řešení kruhové osvětlení. To bylo zrealizováno pomocí LED pásků, rámu a hliníkových lišt s mléčným difuzorem (viz obrázek 4.4). Po reálném testování na daném pracovišti bylo zjištěno, že kromě regulace osvětlení výrobků pomocí posunu po kolejnici, by bylo vhodné doplnit možnost stmívání osvětlení. Tím by se stalo zařízení ještě víc univerzální i pro jiné aplikace.

Pro mikropočítač byla navržena a vytištěna (pomocí 3D tiskárny) krabička, která byla navržena v programu Catia a Fusion 360. Krabička disponuje ventilátorem pro chlazení celého zařízení, větracími mřížkami, možností zajištění napájecího kabelu proti vytrhnutí. Pro krabičku a osvětlení byl navržen a zrealizován také kolejnicový systém, díky kterému je zařízení plně přizpůsobitelné pro nasazení do průmyslu.

Navržená nosná konstrukce (viz. 4.4.) zrealizována nebyla z důvodu vysokých nákladů, namísto ní byla použita konstrukce z demontované výrobní buňky. Pokud se však firma rozhodne nasadit systém do reálného provozu, je nutné vyrobit navrženou konstrukci, nebo jí podobnou a dodržet rozměry. Pod konstrukcí musí být prostor na drtící zařízení, do kterého manipulátor s uchopovačem odhazuje „NOK“ kusy a studené vtoky.

Pro komunikaci s manipulátorem byly navrženy reléové moduly, které se ovládají pomocí GPIO sběrnice. Celkové propojení systému je na obrázku 4.3. Propojení s manipulátorem nebylo realizováno z důvodu nutnosti úpravy konektoru manipulátoru a nevhodnou konstrukcí (z demontované linky), pod kterou nevleze drtící zařízení (viz kapitola 7), ale bylo otestováno pomocí LED diod a testovacího tlačítka. Komunikace je však přichystána

pro reálné nasazení do průmyslu a připojení k manipulátoru v době odstávky linky.

Pro zpracování obrazu v mikropočítači Raspberry Pi, byla nainstalována knihovna OpenCV (viz kapitola 5.4 a Příloha A -). Pomocí této knihovny v programovacím jazyku Python byly navrženy algoritmy pro zpracování snímaných výrobků z kamery. Oba algoritmy jsou popsány v kapitole 6.1.1 a 6.2. První algoritmus byl na základě porovnání vzdálenosti histogramu snímaného výrobku od referenčního výrobku. Tento algoritmus byl otestován na 260 cyklech a jeho výsledky byly v porovnání s kvalifikovanou osobou velmi přívětivé. Pásmo výrobků, vyhodnocené měřicím zařízením jako „SPORNÉ“, je mnohem užší, než pásmo „SPORNÉ“ vyhodnoceno kvalifikovanou osobou. To vypovídá o schopnosti rozlišit barevnost výrobku mnohem lépe než lidské oko. Tyto výsledky jsou zhodnoceny v tabulce 7.1. Jako nevýhodu toho algoritmu shledávám nutnost konstantního osvětlení nasnímaného výrobku pro vyhodnocení a výrobku referenčního. Tuto nevýhodu částečně eliminuje algoritmus KNN (k-nejbližších sousedů). Výhodou algoritmu KNN je možnost přidat vzorky do datové sady. Výsledky vyhodnocení tohoto algoritmu jsou také popsány v kapitole 7. a v tabulce 7.2.

Přínosem zařízení shledávám řešení měření barevnosti výlisků vstřikolisů. Zařízení považuji za funkční a připraveno reálně nasadit do provozu.

Raspberry Pi v kombinaci s kamerovým modulem a objektivem, se ukázalo jako vhodné zařízení pro zpracování obrazu v průmyslu. Podmínkou však je přizpůsobení programu (parametr „distance“, maska nebo KNN datová sada) pro danou aplikaci. Celkově je tedy velmi levnou alternativou ke klasickým PC systémům pro měření detekce vad a kontroly kvality, které stojí řádově stovky tisíc korun.

LITERATURA

- [1] OTEVŘENÁ VĚDA. Plasty kolem nás: NEZkreslená věda II. *YouTube* [online]. 14.10.2015 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=PHpXKWQdNLA>
- [2] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. © Code Creator, s.r.o. Svitavy: distribuce publi.cz, 2016 [cit. 2021-01-03]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>
- [3] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. © Code Creator, s.r.o. Svitavy: distribuce publi.cz, 2016 [cit. 2021-01-03]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [4] NOVOSAD, Lukáš. *Konstrukce vstřikovací formy: Vstřikovací cyklus* [online]. Zlín, 2018 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/42387/novosad_2018_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [5] Vstřikování plastů: Cyklus vstřikování. *Vyrobaplastu.eu* [online]. 5.1.2016 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.vyrobaplastu.eu/vstrikovani-plastu/>
- [6] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro vstřikování termoplastů* [online]. © Code Creator, s.r.o. Svitavy: distribuce publi.cz, 2016 [cit. 2021-01-03]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/01.html>
- [7] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. © Code Creator, s.r.o. Svitavy: distribuce publi.cz, 2016 [cit. 2021-01-03]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [8] Technologie II: Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku. *Ksp.tul.cz* [online]. Liberec, 2018 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm#042
- [9] Historie firmy: © 2021 Ravensburger. *Ravensburger.org* [online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.ravensburger.org/uk/products/ravensburger-puzzle-history/index.html>
- [10] RATHOUZSKÝ, Matouš. *Elektronický záznam o ukončení výroby* [online]. Brno, 2020 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/189416/final-thesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Diplomová práce. Vysoké učení technické.
- [11] Automa – časopis pro automatizační techniku, s.r.o.: Strojové vidění I: Principy a charakteristiky. [online]. 2008 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36550.pdf .
- [12] Machine Vision: Applications of computer vision. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_vision
- [13] Automa – časopis pro automatizační techniku, s.r.o.: Strojové vidění II: Úlohy, nástroje a algoritmy. [online]. 2008 [cit. 2021-01-07]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36676.pdf> .

- [14] Computer Vision with Raspberry Pi and alternatives in 2021: Recent alternatives. *Qengineering.eu* [online]. 2021 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://qengineering.eu/computer-vision-with-raspberry-pi-and-alternatives.html>
- [15] Best Single Board Computers 2021: Alternatives of RPi. *All3dp.com: ALL3DP* [online]. 21.2.2021 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/single-board-computer-raspberry-pi-alternative/>
- [16] Raspberry Pi. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi
- [17] FAQs: Raspberry Pi Documentation. *Raspberrypi.org* [online]. 2021 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/>
- [18] BUBENÍK, Martin. *RaspberryPi kamerový checker* [online]. Brno, 2019 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=190450 .
Diplomová Práce. Vysoké Učení Technické. Vedoucí práce Ing. Peter Honec, Ph.D.
- [19] RaspberryPi models comparsion: Table comparsion. *SocialCompare.com* [online]. 2021, 14.4.2021 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://socialcompare.com/en/comparison/raspberrypi-models-comparison>
- [20] WU, Elaine. Popis Raspberry Pi 4 modelu B (8GB). In: *Seeestudio.com* [online]. 8.5.2020 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/05/28/meet-the-brand-new-raspberry-pi-4-8gb-ram/>
- [21] Kamerový modul: Raspberry Pi Documentation. *Raspberrypi.org* [online]. 2020 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>
- [22] IKIKVC. Raspberry Pi Camera: Comparision of High Quality Camera with Camera Module V2. *Seeestudio.com* [online]. 2020, 7.5.2020 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/05/14/raspberry-pi-camera-comparision-of-high-quality-camera-with-camera-module-v2/>
- [23] Waveshare RPi kamera (B). *Waveshare.com* [online]. 2019, 1.4.2019 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: [https://www.waveshare.com/wiki/RPi_Camera_\(B\)](https://www.waveshare.com/wiki/RPi_Camera_(B))
- [24] Sony. [online katalogový list]. IMX477-AACK CMOS Image Sensor. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: https://www.sony-semicon.co.jp/products/common/pdf/IMX477-AACK_Flyer.pdf
- [25] Raspberry Pi HQ kamera. In: *Rpishop.cz* [online]. 2020 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/kamery/2458-raspberry-pi-hq-kamera-0633696492738.html>
- [26] Arducam 1/2.3" 12,0mm f/1,6 CS objektiv CS1812ZM03: Objektiv pro RPi HQ kameru. In: *Rpishop.cz* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/objektivy/2935-arducam-123-120mm-f16-cs-objektiv-cs1812zm03.html>

- [27] Arducam: Focal Length Calculator. *Arducam.com* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.arducam.com/focal-length-calculator/>
- [28] RUSNÁK, Jakub. *Návrh kamerového systému s průmyslovým robotem KUKA* [online]. Brno, 2011 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/1279/final-thesis.pdf?sequence=8&isAllowed=y>. Diplomová Práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kubela.
- [29] ECLIPSE MODULES: Modul s opticky odděleným relé 5 V. *Dratek.cz* [online]. 2018 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/579/1517442331.pdf>
- [30] Install OpenCV 4.5 on Raspberry Pi 4: Computer Vision. *Qengineering.eu* [online]. Nizozemsko, 2020 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://qengineering.eu/install-opencv-4.5-on-raspberry-pi-4.html>
- [31] *OpenCV: About* [online]. San Jose, 2021 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://opencv.org/about/>
- [32] HÁJOVSKÝ, Radovan, Radka PUSTKOVÁ a František KUTÁLEK. *Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FEI/ZOMRT/Zpracovani%20obrazu%20v%20merici%20a%20ridici%20technice.pdf>. Učební text. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [33] FISHER, Robert, Simon PERKINS, Ashley WALKER a Erik WOLFART. Intensity Histogram: HIPR2. *Image Processing Learning Resources* [online]. USA, 2004 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/histogram.htm>
- [34] HORÁK, Karel. Porozumění obsahu obrazu: Analýza histogramu. *Vision.uamt.feec.vutbr.cz: Machine Vision Group* [online]. Brno: Vysoké Učení Technické v Brně - Fakulta Elektrotechiky a komunikačních technologií, 2020 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: http://vision.uamt.feec.vutbr.cz/ROZ/lectures/05_Porozumeni_obsahu_obrazu.pdf
- [35] FIX, Evelyn a Joseph L. HODGES. *Discriminatory Analysis. Nonparametric Discrimination: Consistency Properties: (PDF) REPORT* [online]. 1951, (ADA800279) [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a800276.pdf>
- [36] ALTMAN a Naomi S. "An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression": *The American Statistician* [online]. 1992, 175-185 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/31637/BU-1065-MA.pdf;jsessionid=63D23CB825C54529F98AE4CFC1C5E947?sequence=1>
- [37] ŠKODA, Pavel. *Kolorimetr* [online]. Brno, 2017 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=145844.

Diplomová Práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Peter Honec, Ph.D.

- [38] WOSTL, Marek. Operační systémy pro Raspberry Pi 4 Model B. *Blog.zonepi.cz* [online]. Praha, 2020, 26.06.2020 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://blog.zonepi.cz/operacni-systemy-pro-raspberry-pi-4-model-b/>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
RAVKA	Ravensburger Karton
2D	Dvou rozměrný (Two Dimensional)
3D	Tří rozměrný (Three Dimensional)
PS	Polystyren
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
PC – plast	Polykarbonát
POM	Polyoxymethylen
PVC	Polyvinylchlorid
OK	V pořádku
NOK	Není v pořádku
TPE	Termoplastické elastomery
High-tech	Pokročilá technologie
PET	Polyethylentereftalát
p-v-T	Fázový diagram látky
CCD	Charge Coupled Device
CMOS	Complementary Metal Oxid Semiconductor
I/O	Vstupně/Výstupní (Input/Output)
PC	Osobní počítač (Personal Computer)
IoT	Internet věcí (Internet of Things)
NAS	Network Attached Storage
USB	Universal Serial Bus
HDMI	High Definition Multimedia Interface
Wi-Fi	Wireless-Fidelity
GPIO	General Purpose Input Output
I2C	Inter Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
SD	Secure Digital
PoE	Power over Ethernet
RAM	Random Access Memory
SOC	System on a Chip
BCM	Broadcom
DDR2	Double Data Rate 2
LPDDR4	Low-Power Double Data Rate

GPU	Grafická jednotka (Graphics Processing Unit)
CPU	Central Processing Unit
CSI	Camera Serial Interface
MMC	Multi Media Card
HQ	Vysoká kvalita (High Quality)
IR	Infračervené (InfraRed)
HFOV	Horizontal Field Of View
RCA	Radio Corporation of America
Mpx	Mega pixel
PETG	Polyethylen Terephthalát glycol
DC	Direct Current
LED	Light Emitting Diode

Symboly:

U	napětí	(V)
I	proud	(A)

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - INSTALACE OPENCV DO RASPBERRY PI	69
PŘÍLOHA B - GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VYHODNOCENÍ.....	72
PŘÍLOHA C - FOTKA TESTOVÁNÍ V PRŮMYSLU.....	73
PŘÍLOHA D - POHLEDY NA ZAŘÍZENÍ.....	74
PŘÍLOHA E - OBSAH PŘILOŽENÉHO CD.....	76

Příloha A - Instalace OpenCV do Raspberry Pi

Nejprve je potřeba zjistit o jakou architekturu systému se jedná. To je možné zjistit příkazem:

```
>> uname -u
```

Na základě informace, kterou vypíše konzole je možné vidět označení „aarch64“ což odpovídá 64bitové verzi, nebo „arm7l“, což odpovídá 32bitové verzi. U zařízení, které je využíváno v této práci se jedná o 32bitový systém.

Další, co je potřeba nainstalovat před samotnou knihovnou OpenCV, je nutnost nainstalovat ostatní softwarové knihovny, které samotné OpenCV poté využívá.

```
>> sudo apt-get update
>> sudo apt-get upgrade
>> sudo apt-get install cmake gfortran
>> sudo apt-get install libjpeg-dev libtiff-dev libgif-dev
>> sudo apt-get install libavcodec-dev libavformat-dev libswscale-dev
>> sudo apt-get install libgtk2.0-dev libcanberra-gtk*
>> sudo apt-get install libgstreamer1.0-dev libgstreamer-plugins-
base1.0-dev
>> sudo apt-get install libxvidcore-dev libx264-dev libgtk-3-dev
>> sudo apt-get install libtbb2 libtbb-dev libdc1394-22-dev libv4l-dev
>> sudo apt-get install libopenblas-dev libatlas-base-dev libblas-dev
>> sudo apt-get install libjasper-dev liblapack-dev libhdf5-dev
>> sudo apt-get install protobuf-compiler
```

Po doinstalování softwaru třetích stran, je možné stáhnout samotné OpenCV z Githubu:

```
>> cd ~
>> wget -O opencv.zip
https://github.com/opencv/opencv/archive/4.5.0.zip
>> wget -O opencv_contrib.zip
https://github.com/opencv/opencv_contrib/archive/4.5.0.zip
>> unzip opencv.zip
>> unzip opencv_contrib.zip
```

Je dobré udělat drobné úpravy:

```
>> cd ~/opencv/
>> mkdir build
>> cd build
```

Poté je potřeba zadat atributy kompilace a instalace OpenCV 4.5.2:

```
cmake -D CMAKE_BUILD_TYPE=RELEASE \
-D CMAKE_INSTALL_PREFIX=/usr/local \
-D OPENCV_EXTRA_MODULES_PATH=~/opencv_contrib/modules \
-D ENABLE_NEON=ON \
-D ENABLE_VFPV3=ON \
-D WITH_OPENMP=ON \
-D WITH_OPENCL=OFF \
-D BUILD_TIFF=ON \
-D WITH_FFMPEG=ON \
-D WITH_TBB=ON \
-D BUILD_TBB=ON \
-D BUILD_TESTS=OFF \
-D WITH_EIGEN=OFF \
-D WITH_GSTREAMER=ON \
-D WITH_V4L=ON \
-D WITH_LIBV4L=ON \
-D WITH_VTK=OFF \
-D WITH_QT=OFF \
-D OPENCV_ENABLE_NONFREE=ON \
-D INSTALL_C_EXAMPLES=OFF \
-D INSTALL_PYTHON_EXAMPLES=OFF \
-D BUILD_opencv_python3=TRUE \
-D OPENCV_GENERATE_PKGCONFIG=ON \
-D BUILD_EXAMPLES=OFF ..
```

Pokud vše proběhlo v pořádku, CMake vygeneruje report s názvem „General configuration for OpenCV 4.5.2“. V tomto souboru je vhodné zkontrolovat architekturu počítače, povolení kamery, instalace Pythonu 3, umístění instalace apod.

Samotnou kompilaci knihovny OpenCV je možné spustit na všech jádrech Raspberry Pi a to přepisem hodnoty *CONF_SWAPSIZE*. Tento parametr je defaultně nastaven na hodnotu 100. Pomocí příkazu:

```
>> sudo nano /etc/dphys-swapfile
```

se v textovém editoru Nano zobrazí soubor, v němž lze hodnotu parametru nahradit za hodnotu 2048. Tím je možné docílit rychlejší kompilace celé knihovny OpenCV. Je nutné ještě aktualizovat hodnotu pomocí příkazů:

```
>> sudo /etc/init.d/dphys-swapfile stop
>> sudo /etc/init.d/dphys-swapfile start
```

Nakonec se spustí samotná kompilace a instalace pomocí příkazů:

```
>> make -j4
```

Na Raspberry Pi 4 trvá instalace knihovny přibližně 60 minut. Pro kontrolu správně nainstalované knihovny je možné zadat příkaz:

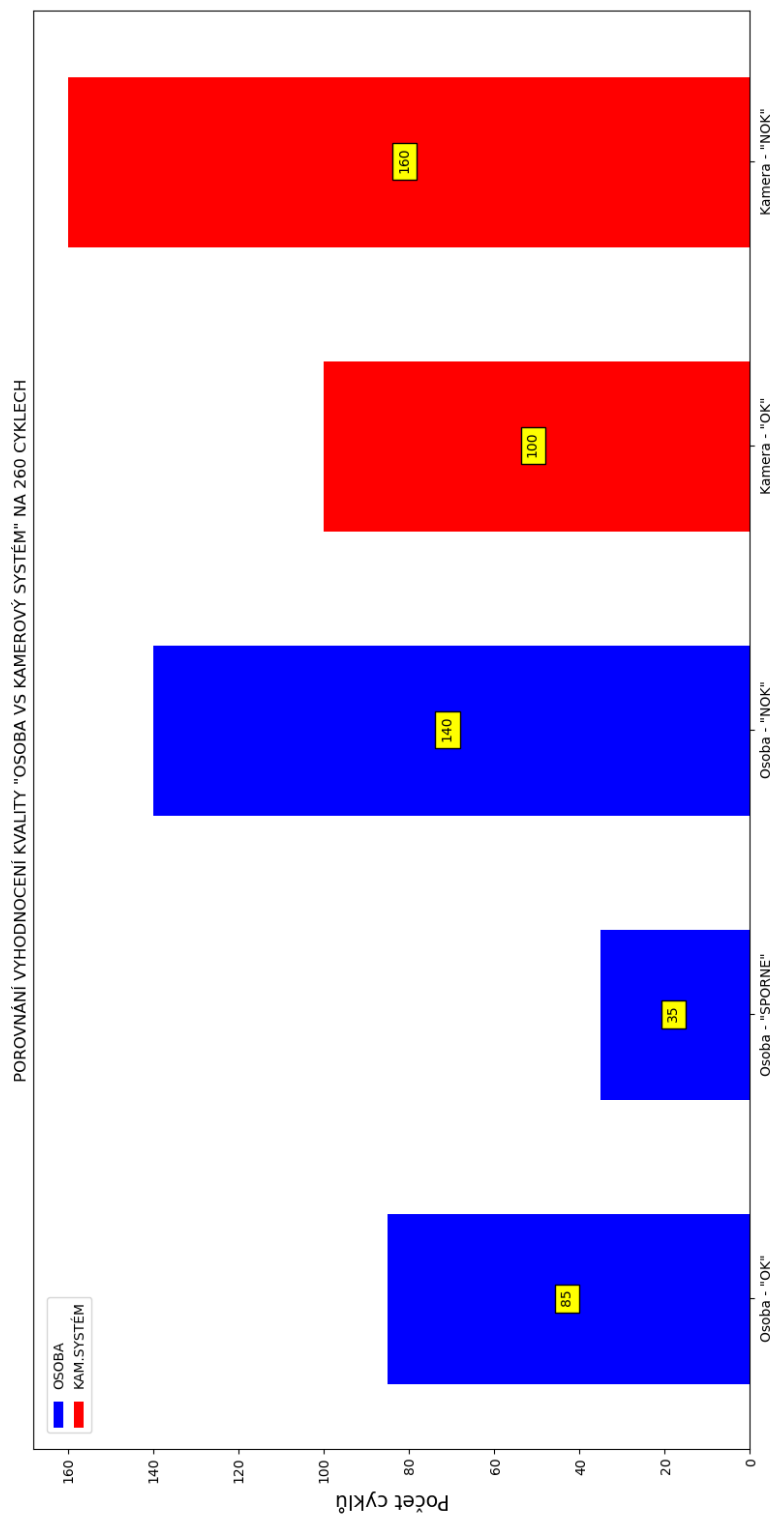
```
>> python 3
```

a poté nainportovat cv2 příkazem:

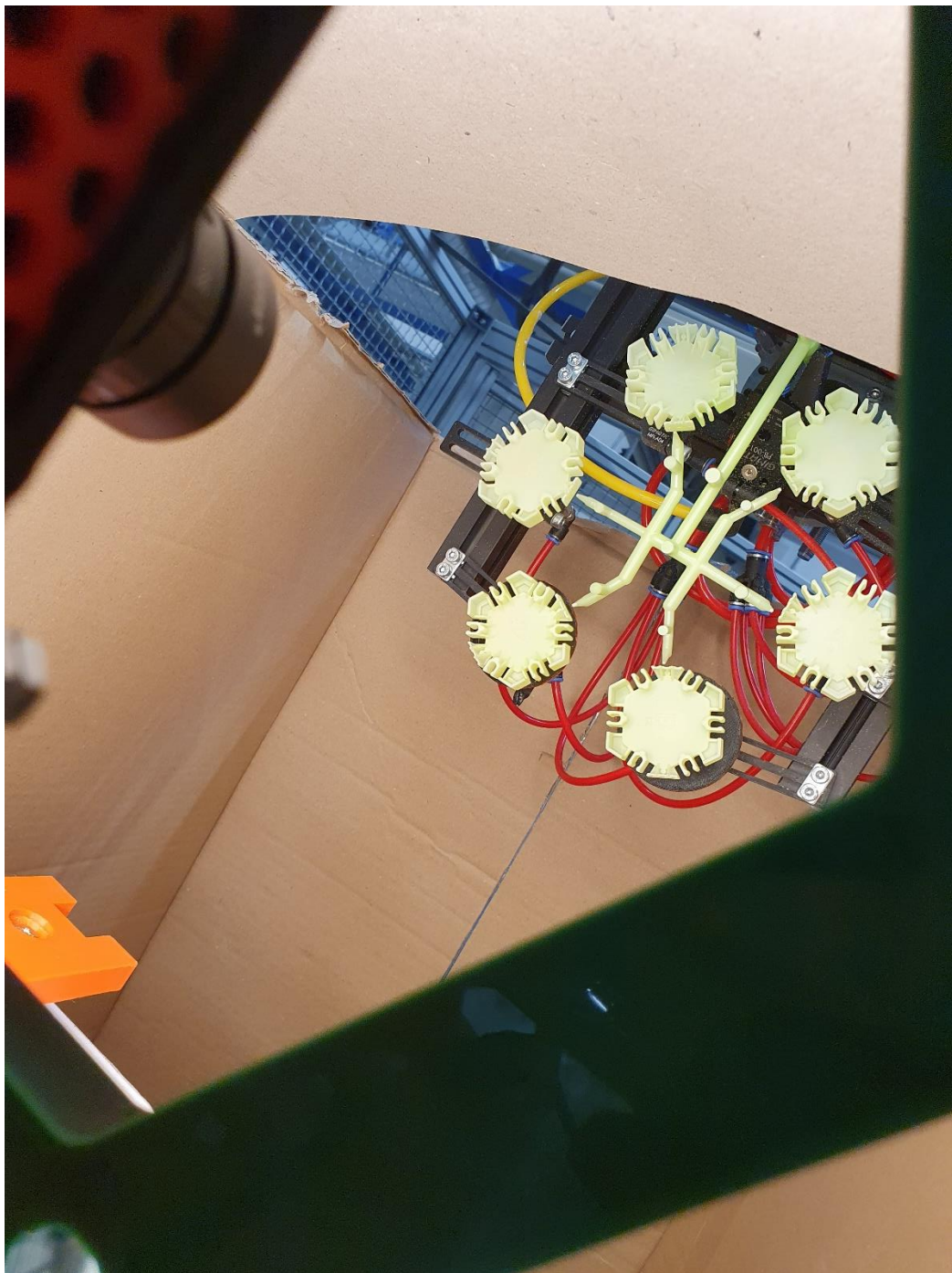
```
>> import cv2
```

Pokud vše proběhne správně, konzole vypíše informaci `cv2.__version__` '4.5.2'.

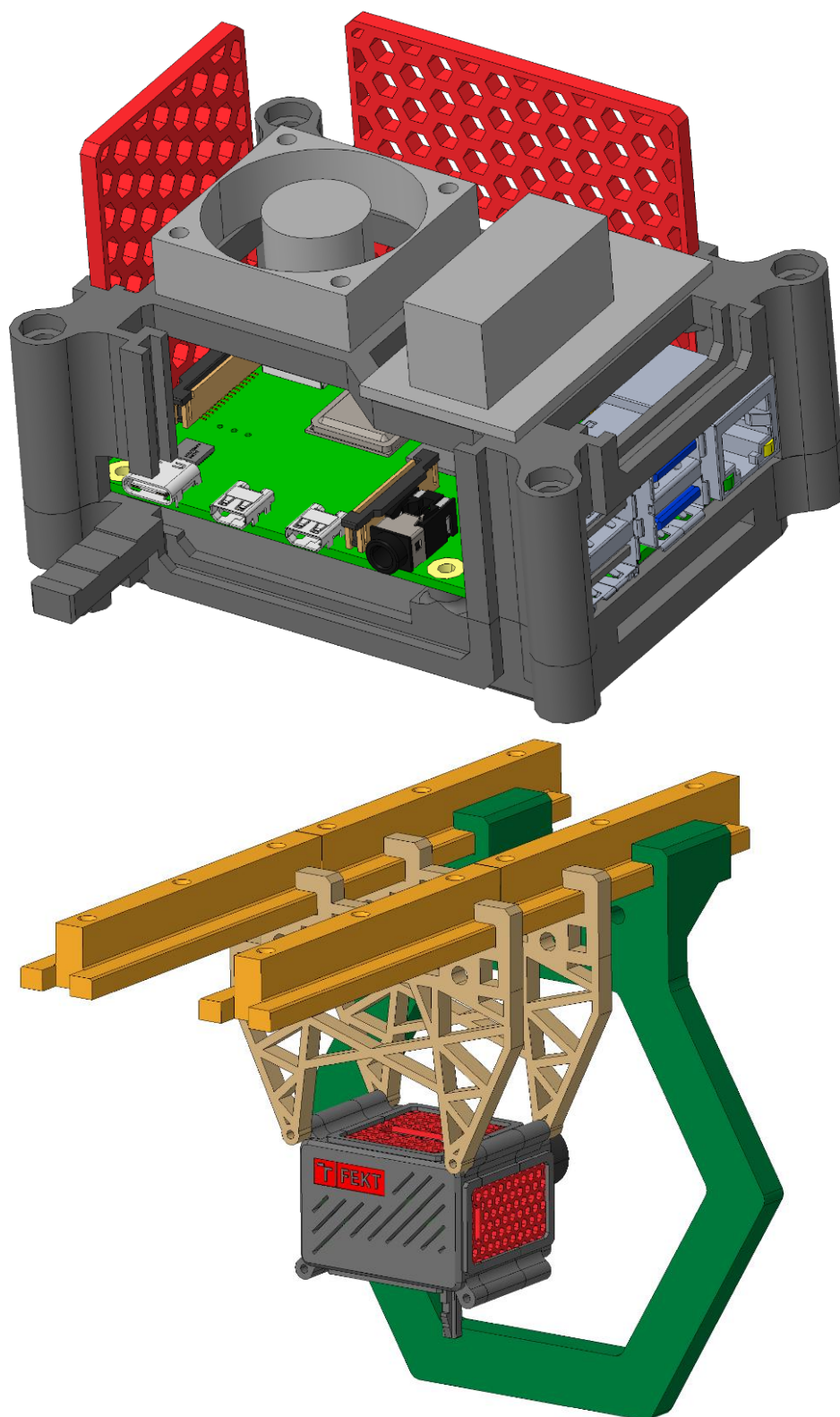
Příloha B - Grafické zobrazení vyhodnocení

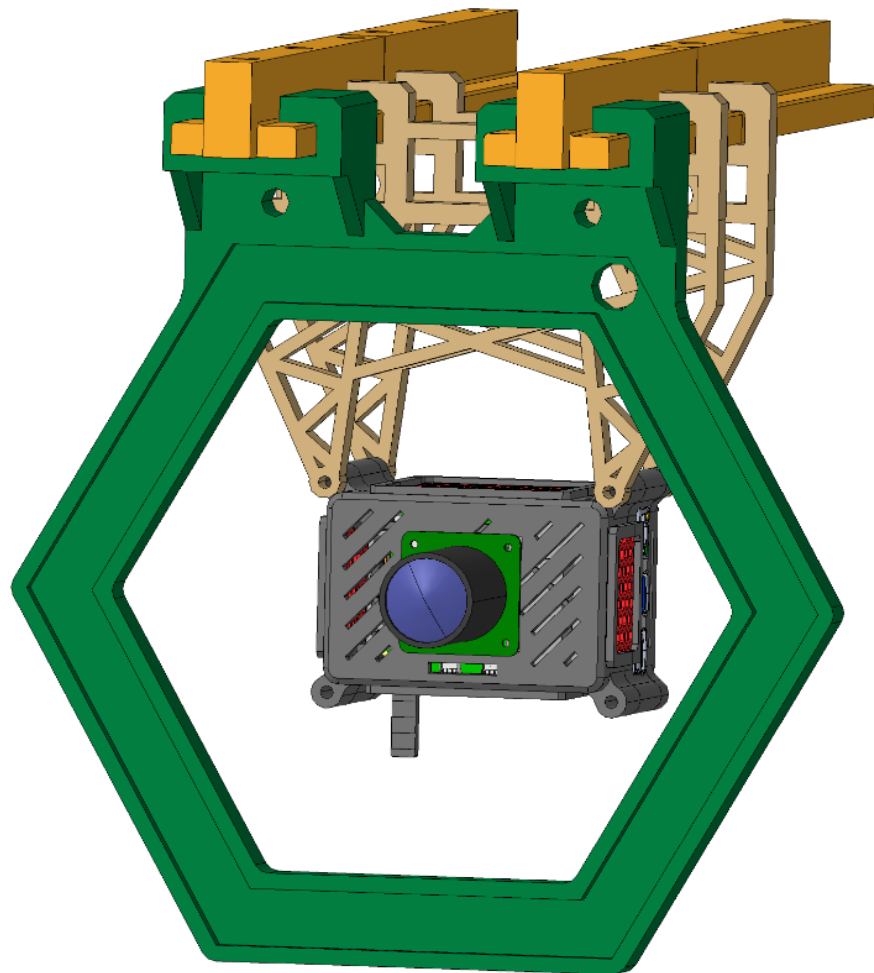
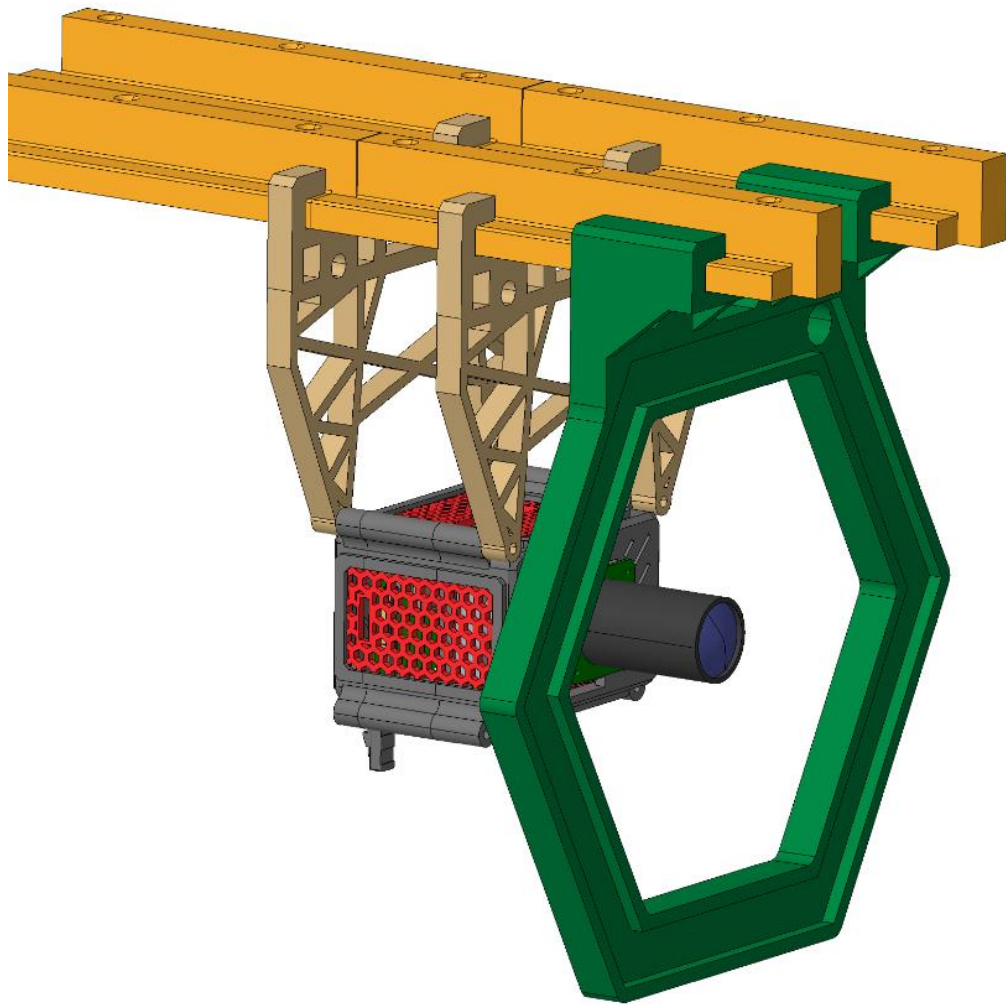


Příloha C - Fotka testování v průmyslu



Příloha D - Pohledy na zařízení





Příloha E - Obsah přiloženého CD

- **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – PDF**
- **ZDROJOVÝ KÓD**
- **STL SOUBORY ZAŘÍZENÍ**
- **DATASHEET RELÉOVÉHO MODULU**
- **NÁVRH KONSTRUKCE Z HLINÍKOVÝCH PROFILŮ**